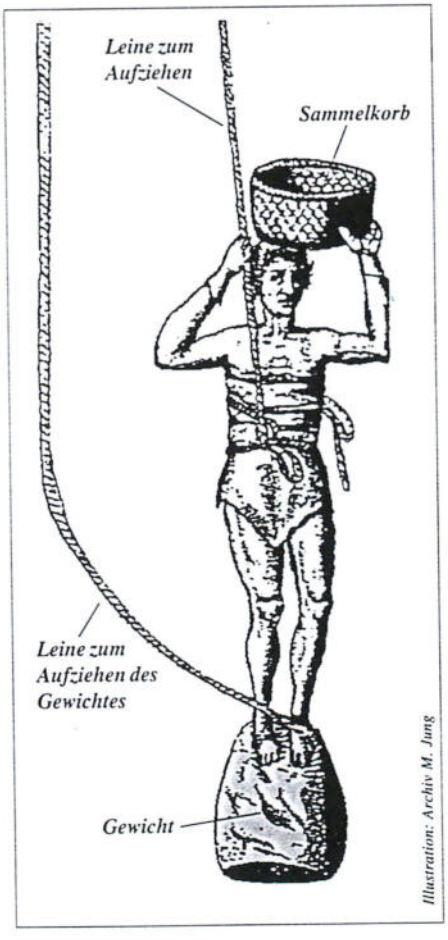
Die Entwicklung des bedarfsgesteuerten Atemreglers - Teil I

Der bedarfsgesteuerte Atemregler oder „Lungenautomat" ist Herzstück und unverzichtbarer Bestandteil unserer Tauchausrüstung. In Kombination mit einer Druckluftflasche entsteht das SCUBA self, das Mitte unseres Jahrhunderts dem Menschen den Unterwasserraum endgültig erschloss. Viele Versuche mussten gemacht und unzählige Erfindungen mussten kombiniert werden, bis der Atemregler funktionsfähig und universell einsetzbar wurde. In seiner vierteiligen Reihe berichtet Michael Jung von dem Entwicklungsweg und den wichtigsten Stationen. Der Auftakt handelt von den frühen Tauchversuchen des Menschen und den ersten, einfachen Tauchgeräten.

So alt wie die Menschheit ist der Traum, tief ins Meer zu tauchen, und es ist recht schwierig, die allerersten menschlichen Tauchversuche nachzuweisen und genau zu datieren - sicher ist nur, dass die Chronologie des Tauchens bis weit in die Antike zurückgeht. Sie ist voll von phantastischen und heroischen Geschichten über frühzeitliche Taucher, ob diese nun nach Schwämmen oder Perlen tauchten oder feindliche Schiffe bekämpften.

Die ältesten gesicherten Hinweise, dass Menschen tauchen, stammen bereits aus einer Zeit vor etwa 6.000 Jahren. Vor etwa 2.500 Jahren erreichte die Taucherei ihren ersten Höhepunkt. In den klassischen griechischen Stadtstaaten und später im Römischen Reich entstanden regelrechte Tauchergewerbe. In dieser Zeit wuchs die Nachfrage nach Meeresgütern: Die reichen Griechen und Römer trieben häufig Sport und pflegten ausgiebig zu baden, wodurch ein großer Bedarf an Badeschwämmen entstand. Immer mehr Bürger konnten sich auch erlesene Delikatessen wie bestimmte Muscheln, seltene Farbstoffe, wie beispielsweise das aus einer Meeresschneckenart gewonnene Purpur, und schöne Schmuckstücke wie Perlen und Korallen leisten.

Schwämme, Austern, Purpurschnecken, Perlmuscheln und Korallen mussten aus dem Meer geborgen werden, und dies war fast ausschließlich die Tätigkeit von Sklaven. Sie schwammen ohne jegliche Tauchausrüstung in die Tiefe, rafften mit angehaltenem Atem (in Apnoe) Perlmuscheln zusammen, schnitten Schwämme ab und befestigten Tauwerk an versunkenem Gut. Nach einigen Minuten jagten sie wieder empor, Helfer zerrten sie ins Boot, wo sie anschließend keuchend am Boden lagen und nach Luft schnappten. Hatten sie sich wieder einigermaßen von den Anstrengungen erholt, hetzte man sie erneut herab. Es gibt in der klassischen Literatur viele Hinweise darauf, dass Taucher auch für andere Arbeiten als Perlen- oder Schwammtauchen unter Wasser eingesetzt wurden, und zwar für Kriegszwecke.



Das Perlen- und Schwammtauchen ist die älteste Unterwasserbetätigung des Menschen.

Beutelüsterne Kriegsherren erkannten den großen Vorteil, den der Taucher ihnen bei der Lösung spezieller Aufgaben bietet: seine Unsichtbarkeit. Das Tauchen zu kriegerischen Zwecken ist von der Antike bis zum Mittelalter durch alle Jahrhunderte hindurch und in allen Kulturkreisen präsent. Die Römer hatten eigens hierzu Marinesoldaten ausgebildet, "urinatores" genannt, die zum Beispiel belagerten Städten Säcke mit Proviant zuführten oder zum Nachrichtendienst, sogar zur Beschädigung der Dämme und Wälle benutzt wurden. Viele Festungen versuchten sich gegen diese Taucher durch Netze mit Klingeln und unterseeischen Drehtürmen mit Messern zu schützen.

Im Mittelalter stand in der Ausbildung der Ritter neben den höfischen Umgangsformen und Kampftechnik die körperliche Ertüchtigung im Wasser mit im Vordergrund. Das Tauchen wurde dabei ebenfalls ausgiebig geübt. Welche hohe Bedeutung das Tauchen in dieser Zeit besaß, geht wohl am besten aus der Tatsache hervor, dass Tauchen zu den "sieben leiblichen Fertigkeiten der Ritter" gehörte. Bis zur Zeit Louis XIV. unterhielt auch Frankreich Marinetaucher; später traten beim Tauchen die zivilen Zwecke, das Gewinnen von Korallen, Schwämmen, Austern und Perlen aber wieder mehr in den Vordergrund.

Apnoetaucher leisteten Jahrhunderte hindurch sowohl im Frieden als auch im Krieg wertvolle Dienste. Der Fortschritt der Technik verlangte aber immer häufiger auch den Ein-

satz von Tauchern zu längerandauernden Unterwasserbauarbeiten, wie etwa beim fortschreitenden Ausbau von Hafenanlagen. Auch der Seeverkehr wuchs gewaltig an, doch die nautischen Kenntnisse entwickelten sich kaum weiter. Stürme, Riffe und andere Gefahrenquellen forderten von der Seefahrt riesige Tribute; Seeräuber, die zeitweise fast das ganze Mittelmeer beherrschten, und Kriegsflotten bohrten unzählige Handelsschiffe in den Grund. Auf diese Weise entstand ein weiteres Arbeitsfeld für Taucher. Sie bargen Schätze aus Gold und Silber, Kunstwerke aus Marmor und Bronze ebenso wie untergegangenes, in großen tönernen Krügen verstautes Getreide. Viele der versunkenen Schiffe lagen aber tiefer als Apnoetaucher tauchen können. Andererseits erforderte die Bergung der Schiffsladungen oder Bauarbeiten in Häfen eine längere Aufenthaltszeit unter Wasser. Bereits früh wurde also deutlich, dass man besondere Hilfsmittel einsetzen musste, um tiefer zu Tauchen und dort längere Zeit verweilen zu können.

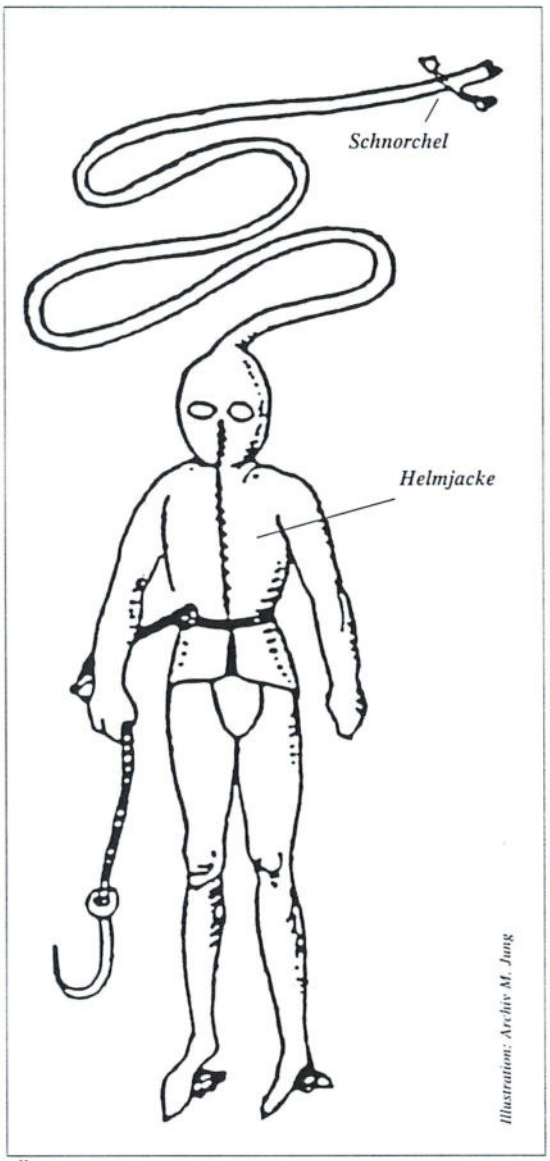
Die ersten Hilfsmittel, an die man dachte, waren überlange Saugrohre, die man nach Art eines Schnorchels verwenden wollte. Diese Idee wurde sehr wahrscheinlich der Natur abgeschaut. Aristoteles schrieb schon um 350 v.Chr., man verwende solche Schnorchel in der gleichen Art wie Elefanten beim Schwimmen im Wasser ihren Rüssel. Es finden sich im Laufe der Jahrhunderte solche Konstruktionsvorschläge in vielen anderen zeitgenössischen Werken.

Einer der ältesten deutschen Darstellungen eines Schnorchels finden wir in dem "Fischbüchlein vom Bodensee". Diese Sammlung von Fischfangmethoden stammt von einem Privatmann um 1450, welche er zu seinem persönlichen Gebrauch zusammengestellt hat. Neben einer Reihe von Fischrezepten und Leuchtködern verdient die Beschreibung eines Taucherhelms mit Schnorchel für den Unterwasserfang besondere Aufmerksamkeit. Es handelt sich bei dem als "Wasserkappe" bezeichneten Helm um einen jackenartig verlängerten Taucherhelm, der im Gürtelbereich wasserdicht abschließt. Er verfügt über zwei verglaste Sichtöffnungen und eine weitere Öffnung am Helmfirst für den Schnorchel. Der biegsame Schnorchel ist an einem hölzernen Schwimmer aufgehängt. Aus physiologischen Gründen sind Schnorchel ab einer Länge von etwa 30 cm jedoch vollkommen ungeeignet für das Tauchen. Da also eine Atmung durch überlange Saugrohre von der Oberfläche beim Tauchen ausschied, und noch keine Pumpen erfunden waren, welche stark genug waren, um Atemluft zum Taucher hinunterzutransportieren, musste versucht werden, eine genügend große Reserve an Atemluft mitzunehmen. Dies führte im nächsten Schritt zu den Taucherglocken.

Taucherglocken wurden wie die Schnorchel zuerst von Aristoteles beschrieben. Aristoteles, ein Schüler Platons, gilt um 350 v.Chr. als Verfasser der "Mechanischen Probleme". Dieses Werk bildet gleichzeitig den ältesten Beleg über die Verwendung von Tauchgeräten überhaupt. Aristoteles gibt uns in seiner Schrift Kunde von einer einfachen Taucherglocke: "Um jene, welche Schwämme fischen, mit Luft zu versorgen, läßt man Gefäße ins Wasser hinab, deren Öffnung nach unten gerichtet ist, so dass die Luft nicht zu entweichen vermag. Sie sinken langsam auf den Grund, man achtet dabei, dass sie senkrecht bleiben. Bei der geringsten Schwankung dringt Wasser hinein, und sie stürzt um." Die einfache Taucherglocke entstand wahrscheinlich aus einem großen Tonkrug, der dem Taucher über den Kopf gestülpt wurde. Darin hielt sich eine Luftblase, die dem Taucher kurze Zeit zum Atmen dienen konnte. Ein Vorbild für diesen frühen Vorläufer der Taucherglocke scheint Aristoteles bei seinen Beobachtungen der luftgefüllten Netze der Wasserspinne gefunden zu haben.

Es hat nachweislich im Altertum nicht an Versuchen gefehlt, mit allerlei technischen Hilfsmitteln den Meeresboden zu erreichen, sicherlich ist dabei damals besonders mit Taucherglocken Beachtliches geleistet worden. Philon aus Byzanz berichtet beispielsweise, dass man im Jahre 210 v.Chr. den Silberschatz eines gesunkenen Schiffes aus 32 Meter Tiefe mit Hilfe einer Taucherglocke heraufgeholt habe. Livius und Lucanus beschreiben ähnliche Unternehmungen. Aus dem Bericht des Titus Livius geht hervor, dass zur Zeit, als Perseus König von Makedonien war, Taucher zahlreiche Schätze aus dem Meer fischten. Die Bewohner der Insel Rhodos erließen ein Gesetz, um festzulegen, welcher Prozentsatz des Gesamtwertes der Schätze dem Taucher zustand. Je tiefer sich die kostbaren Gegenstände befanden, desto höher war dieser Anteil. Auch bei Plutarch finden einige Tauchunternehmen Erwähnung. Nach dem Untergang des Römischen Reiches wurden aber derartige Zeugnisse nach und nach seltener.

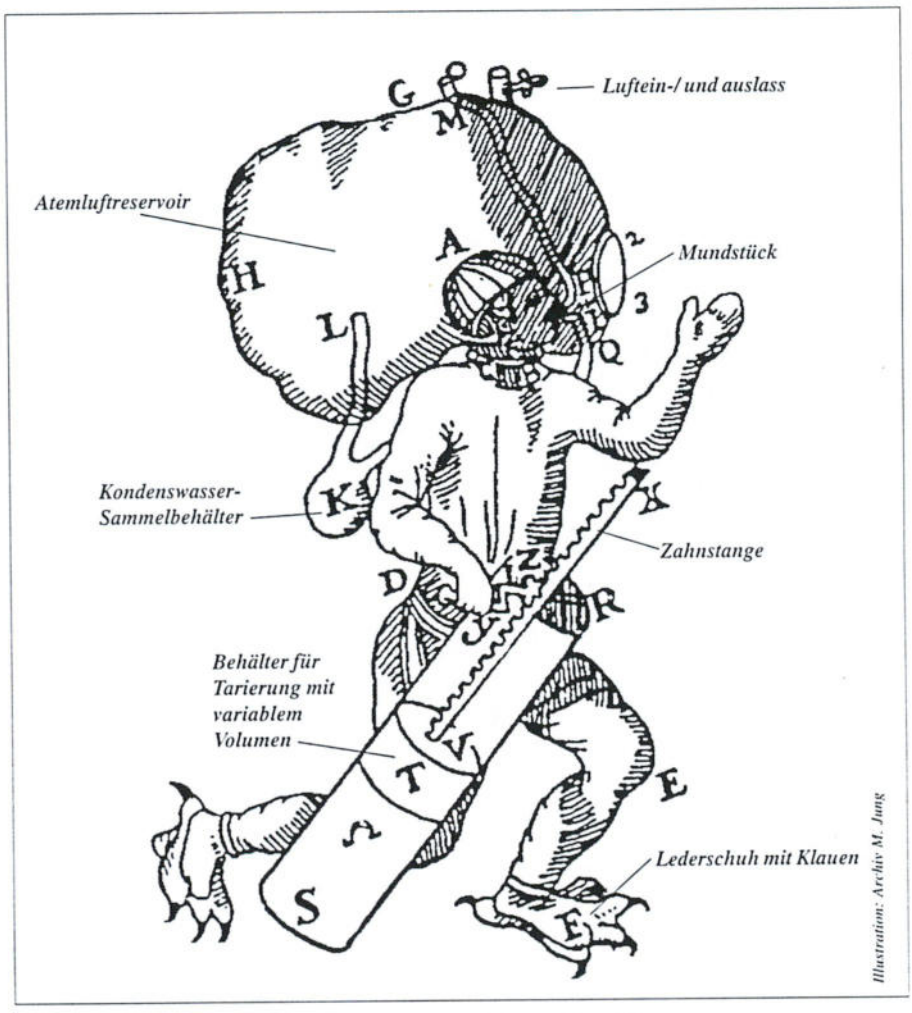
1538 führten zwei Griechen Kaiser Karl V. bei der spanischen Stadt Toledo auf dem Tajo eine Taucherglocke - "cacabus aquaticus" genannt - vor. Tausende Zuschauer sahen den riesigen Topf mit der Öffnung nach unten an einem dicken Seil über Wasser hängen. Die Erfinder dieses Monstrums verschwanden mit brennenden Talgkerzen in den Händen im



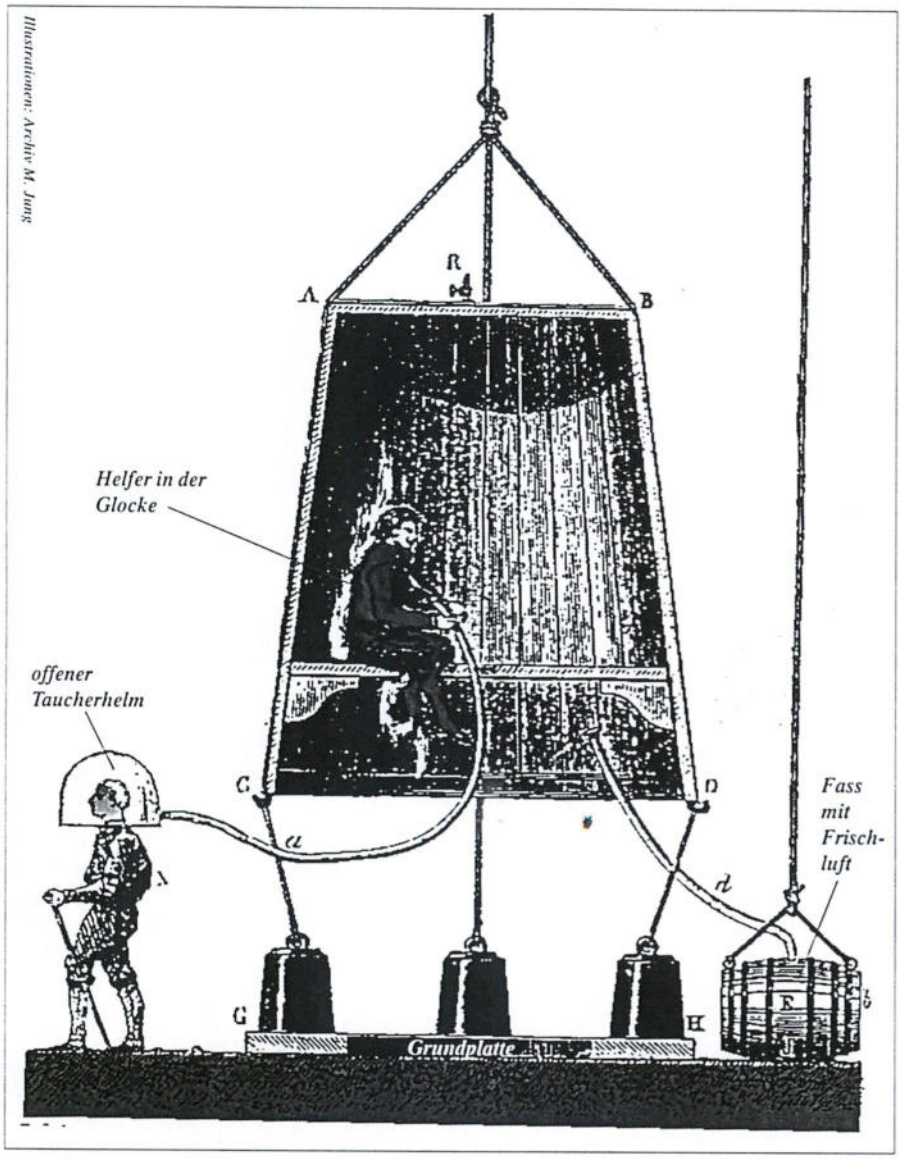
Überlange Schnorchel, wie hier gezeigt, sind für das Tauchen vollkommen ungeeignet.

Inneren der Glocke. Dort waren Bretter befestigt, auf die sie sich setzten. "Man muß diese Wunder mit eigenen Augen sehen", schreibt der Weltreisende John Taisnier, der Karl V. auf seiner Reise nach Afrika begleitet hatte, in seinem 1562 in Köln veröffentlichten Buch "Opusculum perpetum memoria dignissinum", "um sich davon zu überzeugen, dass man sich unter Wasser lassen kann, ohne die Kleidung naß zu machen, und sogar unter Mitnahme einer brennenden Kerze".

Immer häufiger wurde nun die Glocke bei der Hebung von Schätzen gesunkener Schiffe benutzt: mit besonderem Erfolg einmal von dem Engländer William Phips. Er konnte bei den Bahamas einen enormen Schatz aus einem spanischen Schatzschiff heben. Der Abenteurer wurde dafür vom König von England 1687 in den Adelsstand erhoben und zum Gouverneur von Massachusetts ernannt.
Taucherglocken leisteten Jahrhunderte lang gute Dienste, doch erwiesen sie sich mit der Zeit als zu unbeweglich und zu umständlich für viele Aufgaben. Man wünschte sich eine grössere Mobilität und ein leistungsfähigeres Tauchgerät als eine Glocke. Gegen Ende des 17. Jahrhunderts, parallel zu dem Aufblühen der Naturwissenschaft und der Technik in der Renaissance, bemühte man sich wieder in verstärktem Maße, verbesserte Atmungsvorrichtung für Taucher und einfachere Hilfsmittel zu erfinden. Heute kann man leicht feststellen, dass die Bemühungen der frühen Erfinder in zwei grundsätzlich verschiedene Richtungen führten: Der Mensch konnte sich entweder dem Umgebungsdruck aussetzen, der ihn umgab, oder sich vor ihm in gepanzerten Geräten abschirmen. In beiden Fällen mußte er einen genügend grossen Vorrat an Atemluft mitführen, wenn er unabhängig und über eine längere Zeit unten bleiben wollte.
Ein erster, wichtiger Schritt in Richtung unserer modernen Tauchergeräte machte der Italiener Johann Alfons Borelli. Wie sooft in der Geschichte, kam auch diese Erfindung durch eine aufmerksame Naturbeobachtung zustande. Borelli, der im Jahre 1679 ein Buch über die Körperbewegung der Tiere schrieb, und damit die ersten wissenschaftlichen Untersuchungen über das Schwimmen veröffentlichte, wandte sein Interesse von der Atembewegung der Fische hin zu den Tauchapparaten. Sein Taucheranzug bestand aus einem grossen Kupferhelm, in dem der Atemluftvorrat enthalten war, und flossenartigen Schuhwerk. Er brachte einen besonderen Schlauch zum Ausatmen der verbrauchten Luft an, und er glaubte, dass die Ausatemluft durch das Abkühlen in dem Rohr wieder gereinigt werden würde und wiederverwendet werden könnte. Es ist leider nicht bekannt, ob Borelli den Anzug baute und damit wirklich tauchte.
Eine Verbindung von Taucherglocken und Taucheranzug schaffte der Astronom Edmund Halley im Jahre 1716. Seine große Taucherglocke bestand aus Holz, unter der ein schwerer Eisenring an Stangen befestigt ist. In der Taucherglocke, die natürlich unten offen ist, ist ringsum eine Bank angebracht, auf die sich die Taucher setzen können. Sind sie auf dem Boden des Meeres angelangt, dann verlässt ein Taucher mittels eines offenen Taucherhelms die Glocke, um frei auf dem Grund arbeiten zu können. Seine frische Luft erhält er durch einen Schlauch, der in die Taucherglocke führt. Die Insassen der Taucherglocke erhielten ihre Frischluft durch ein Versorgungssystem mittels auf- und ab pendelnder Fässer. Halley ließ sich mit vier Gefährten in diesem Apparat 15 Meter tief ins Meer hinab, und hielt sich dort über eine Stunde lang auf. Als der englische Ingenieur John Smeaton 1778 den schwierigen Bau des Hafens von Ramsgate ausführte, verwandte er die Halleysche Taucherglocke in einer wesentlich verbesserten Form. Er machte die Glocke selbst aus Gußeisen und schaffte die frische Luft durch eine Pumpe nach unten.
So fortschrittlich auch diese offenen Taucherhelme waren, blieb ihnen doch ein gravierender Nachteil: Der Taucher war mit dem Luftschlauch an die Glocke oder an eine Pumpe an der Oberfläche gefesselt, und er konnte sich nur aufrecht schreitend vorwärts bewegen. Wollte er sich auf dem Grund knien um dort eine Arbeit zu erledigen, so war ihm dies ab einem gewissen Neigungswinkel unmöglich,



Die Erfindung zu einem Tauchgerät des Alphonse Borelli.



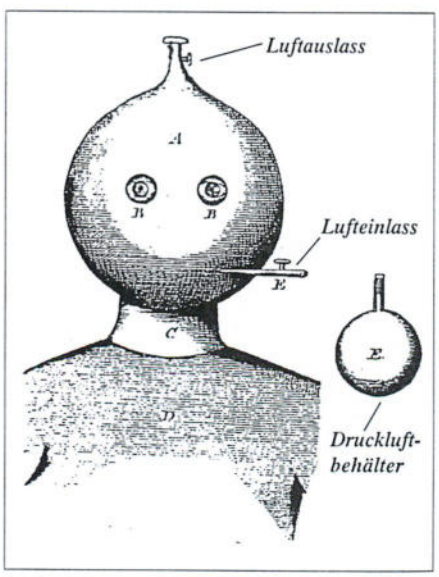
Die Erfindung des Edmund Halley ermöglichte es einem Taucher, für eine kurze Zeit die Taucherglocke mittels eines Helmes zu verlassen.

denn dann lief der Helm voller Wasser. Die Erfinder versuchten deshalb, Taucherglocke und Taucherhelm weiter zu verbessern. Die Glocke war zu schwer und zu unbeweglich, und für schnelle, einfache Arbeiten, bei der der Taucher beweglich sein musste, einfach nicht geeignet. Deshalb machten sich findige Köpfe daran, autonome Tauchgeräte herzustellen, welche dem Taucher vollkommene Bewegungsfreiheit auf dem Meeresgrund bieten sollten.

Einer der ersten, die eine brauchbare Idee hatten, war der deutsche Botaniker, Arzt und Naturforscher Joseph August Schultes. Er schlug bereits 1792 vor, an einen offenen Taucherhelm Druckluftbehälter zu befestigen, um den Taucher so von einer Oberflächenversorgung unabhängig zu machen. Als Druckluftbehälter schlug er einfache "Windbüchsen" vor, welche bereits seit einigen Jahrhunderten für andere Zwecke erfunden waren. Man verwandte sie zunächst zum schnellen Anfachen von Schmiedefeuern und für die Luftzufuhr von grossen Kirchenorgeln. Ende des 18. Jahrhunderts fanden sie dann Anwendung als Druckluftreservoir von Luftgewehren. Von diesen Windbüchsen stammen unsere heutigen Druckluftflaschen für Tauchgeräte ab. Schultes konnte seinen Vorschlag, einen Taucher mit einer Druckluftreserve autonom zu machen, aufgrund fehlender technischer Möglichkeiten leider nie selbst praktisch umsetzen, aber es scheint so, als dass seine Idee einige Jahre später im Ausland aufgegriffen, weiterentwickelt und in der Praxis eingesetzt wurde.

Ein weiterer interessanter Entwurf stammt von Karl Heinrich Klingert aus dem Jahr 1797. Er hatte seinen Taucher ebenfalls mit einem offenen Taucherhelm ausgerüstet, als Luftreservoir diente eine große, zylindrische Druckluftflasche, die er seitlich auf Gürtelhöhe befestigte. Aus ihr sollte kontinuierlich Frischluft in den Helm strömen. Leider scheint auch Klingerts autonomes Gerät nur auf dem Papier geblieben zu sein.

Bei den obigen Tauchgeräten mit offenem Taucherhelm wurde die Angleichung der Atemluft an den Umgebungsdruck nach dem Vorbild der Taucherglocke an der Grenzfläche von Wasser und Luft realisiert. Vom 17. Jahrhundert an lösten eine ganze Anzahl von Erfindern das Problem des Atmens unter Umgebungsdruck aber auch mit Hilfe eines zwischengeschalteten, elastischen Puffersackes: Sie benutzten zur Druckangleichung eine Schweinsblase oder einen luftdichten, kautschukbeschichteten Tuchsack. Ein Beispiel für ein solches Gerät ist der "pneumatorische Apparat" des französischen Zahnarztes Lemaire D'Augerville aus Paris, von dem 6 Exemplare von der französischen Marine in den Jahren 1828 und 1829 getestet wurden. Er besteht zunächst aus einem blechernen, zusammengenieteten Druckluftbehälter für bis zu 23 bar, der auf dem Rücken getragen wird und kontinuierlich durch einen Schlauch eine



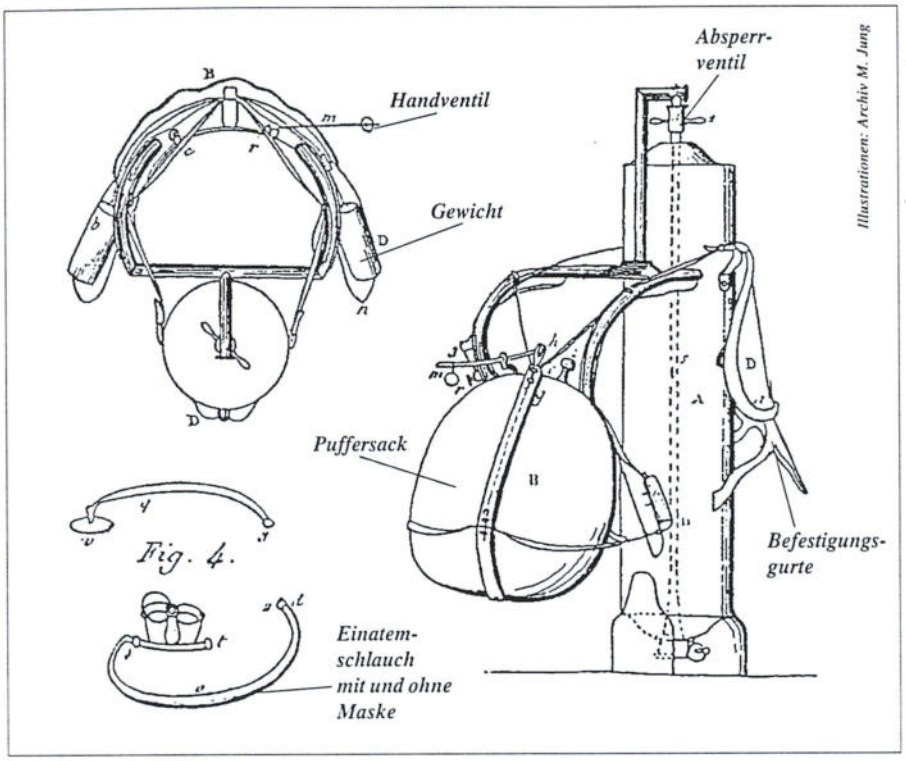
Die Erfindung von Joseph August Schultes von 1792 mit separatem Druckluftbehälter.

Blase aus beschichtetem Stoff mit Frischluft versorgt. Sie dient als Druckangleichs-Puffersack und ist vor der Brust mit Gurten befestigt. Ein zweiter Schlauch leitet die Luft, die in der Blase auf Umgebungsdruck gebracht wurde, zu einer Vollgesichtsmaske aus Kupfer. Die Maske sollte mit Zahnzement abgedichtet und so an die Gesichtsform des Tauchers angepasst werden. Die ausgeatmete Luft entweicht durch ein Ventil an der Maske.

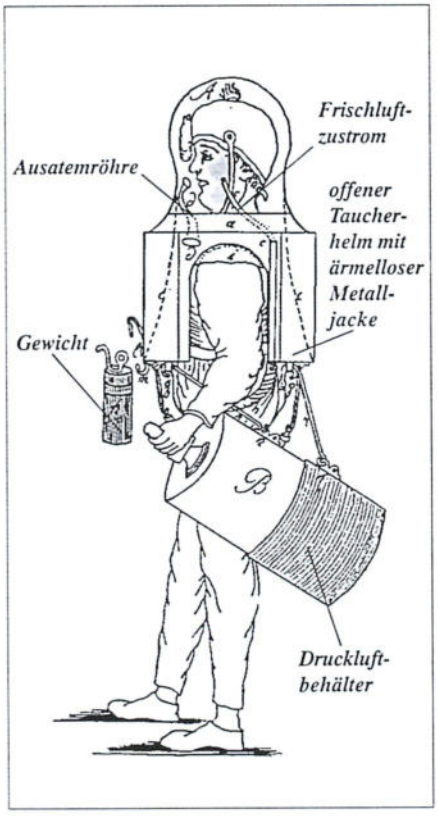
Ein manuelles Ventil an dem Schlauch läßt nach Bedarf des Tauchers mehr oder weniger Luft in die Brustblase einströmen. Der Ballast, insgesamt 29 Kilogramm, ist in Form von Bleistücken an der Begurtung befestigt. Mit dem Gerät sollen 30 Minuten lange Tauchgänge in bis zu 20 Meter Tiefe möglich gewesen sein.

D'Augerville schlug vor, dass der Taucher nicht nur auf dem Grund gehen sondern auch frei schwimmen sollte und beschrieb, wie man die entsprechende Tarierung durch ein Ventil an der Blase herstellen konnte. Dies wird aber kaum praktisch durchführbar gewesen sein, denn erstens besaß der Taucher noch keine Flossen und zweitens wog die Ausrüstung insgesamt rund 50 Kilogramm! Verschiedenen Berichten zufolge tauchte D'Augerville mit seinem Gerät unter anderem an dem Wrack des englischen Schiffes Bellona. Zu Beginn des 19. Jahrhunderts hatte die Tauchtechnik es immerhin geschafft, den Taucher durch mitgenommene Druckluftreserven für kurze Zeit unabhängig von der Oberfläche zu machen. Es verblieben aber noch zwei grundsätzliche Probleme: Zunächst war es das geringe Fassungsvermögen der Druckluftbehälter. Zu dieser Zeit gab es noch keinen Werkstoff und kein Verfahren, mit dem handliche Behälter für einen höheren Druck gefertigt werden konnten. Abgesehen davon gab es auch noch keine Pumpen, welche einen Druck über 30 bar erzeugen konnten. Wollte man also längere Zeit autonom unter Wasser bleiben, so musste man riesige Druckluftbehälter mit auf den Grund nehmen. Dies beeinträchtigte die Mobilität des Tauchers natürlich wieder gewaltig.

Hinzu kam, das der sowieso schon sehr kostbare und geringe Vorrat an Druckluft nur sehr ineffizient genutzt werden konnte. Es gab noch kein Ventil, welches dem Taucher tatsächlich nur soviel Luft aus seinem Reservoir lieferte, wie er gerade benötigte. Bei den bislang erfundenen Tauchgeräten handelte es sich durchweg um sogenannte "Free-flow"-Geräte, also solche, bei denen ein ununterbrochener Frischluftstrom in den Taucherhelm strömt und dort teilweise geatmet wird. Man bezeichnet diese Art Tauchgeräte auch als Spülgeräte, da der ständige Luftstrom den Helm vom schädlichen Kohlendioxid freispült. Wollte man den kostbaren Luftvorrat also bestmöglich ausnutzen, musste ein Regler erfunden werden, der dem Taucher nach seinem Bedarf genau dann Luft zuführte, wenn er sie benötigte. Die Entwicklung der Tauchtechnik war zu Beginn des 19. Jahrhunderts an einen Wendepunkt gelangt, denn es fehlte gerade dieser entscheidende Regler zwischen Druckluftvorrat und Taucherlunge. Dieses Teil wurde auch recht bald erfunden, allerdings nicht in der Tauchtechnik. Um das Problem zu bewältigen, musste die Tauchtechnik Anleihen machen, und zwar in der Bergbau- und Gaslichttechnik. (Verfolgen Sie die weiteren Entwicklungen im *DIVEMASTER* 1-2000).



Die Erfindung des Lemaire D'Augerville von 1828 glich unseren heutigen Tauchgeräten schon sehr. Was fehlte war ein bedarfsgesteuerter Atemregler.



Karl Heinrich Klingerts Erfindung von 1797 mit seinem offenen Taucherhelm und einer zylindrischen Druckluftflasche.

Literatur:
Jung, Michael: Das Handbuch zur Tauchgeschichte. Stuttgart, 1999.
-,-: Technikgeschichte des bedarfsgesteuerten Atemreglers für Drucklufttauchgeräte. Merzig, 2000.

Die Entwicklung des bedarfsgesteuerten Atemreglers - Teil II

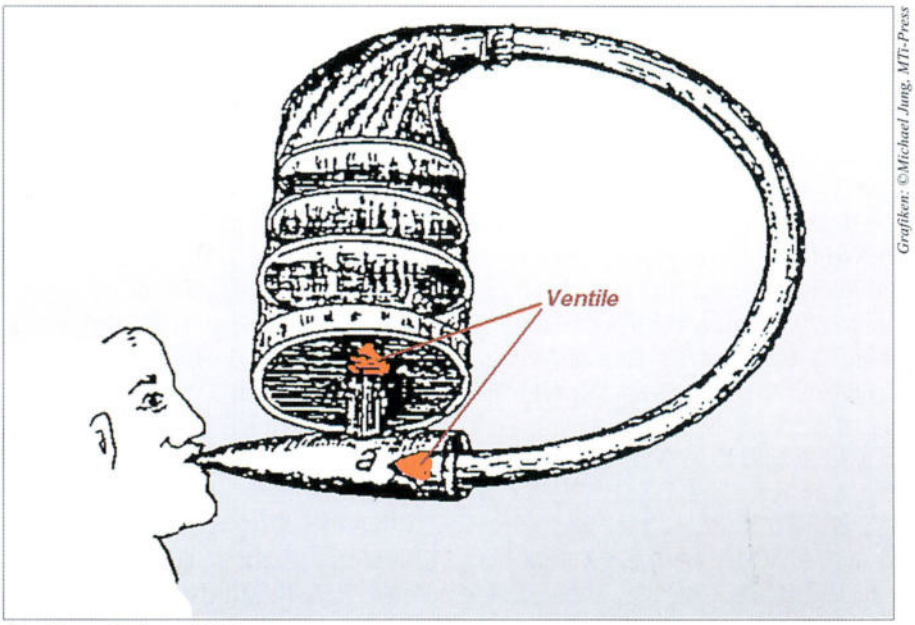
Bis zum Beginn des 19. Jahrhunderts hatte die Tauchtechnik nur unwesentliche Fortschritte gemacht. Man verwandte für Unterwasserarbeiten hauptsächlich Taucherglocken und war sich über deren grosse Nachteile wie Immobilität sowie die aufwendigen Begleitumstände für ihren Einsatz durchaus bewusst. Man hatte zwar schon die Idee, Taucher auf dem Meeresgrund durch mitgenommene Atemgasreserven mobiler und unabhängiger zu machen, doch waren zum Umsetzen der Idee von der Theorie in die Praxis noch mehrere Hürden zu überwinden. Einerseits waren die speicherbaren Luftmengen noch zu gering, und andererseits konnte die kostbare Luftreserve aufgrund eines fehlenden, passenden Reglers nicht sparsam und entsprechend dem Umgebungsdruck - eben „bedarfsgesteuert" - genutzt werden. Wie Michael Jung in diesem zweiten Teil berichtet, wurden wesentliche Fortschritte zur Lösung dieser Problematik im Grubenrettungswesen sowie der Gaslichttechnik erzielt.

Die Entwicklung unserer modernen Atmungsgeräte begann im Grubenrettungswesen. Darunter versteht man alle Maßnahmen, die es ermöglichen, im untertägigen Grubenbetrieb Arbeiten zur Bergung von Menschen durchzuführen sowie Sachwerte zu erhalten. Für diese Rettungszwecke werden hauptsächlich Gasschutzgeräte und Wiederbelebungsapparate benötigt.

Der Naturforscher, der den ersten Grundstein für unsere heutigen Atemgeräte gelegt hat, war der berühmte englische Botaniker Stephen Hales. Er stellte gründliche, wissenschaftliche Versuche über die menschliche Atmung an, zu denen er geführt wurde, als er bei der Erforschung des pflanzlichen Lebens den wesentlichen Einfluß der Atmosphäre auf das Gedeihen der Pflanzen kennenlernte. Zur Erforschung der Luft und ihrer Veränderungen bei der Atmung stellte er eine Vielzahl von Versuchen an und veröffentlichte 1727 deren Ergebnisse.

Naturgemäß zeigten seine Versuche, dem damaligen Stand der Wissenschaft entsprechend, schon in den Anfängen grobe Fehler. Umso mehr ist es aber anzuerkennen, dass er durch eine Reihe empirisch festgestellter Erscheinungen, deren Ursache er nicht zu deuten wußte oder falsch gedeutet hatte, auf Gedanken gebracht wurde, die in den modernen Atemgeräten realisiert wurden.

In seinem Werk "Vegetable Staticks" beschreibt Hales zwei Respirationsversuche in geschlossenen Systemen. Bei dem einem Versuch ist die Verwendung von nass oder trok-



Grafiken: ©Michael Jung, MTi-Press

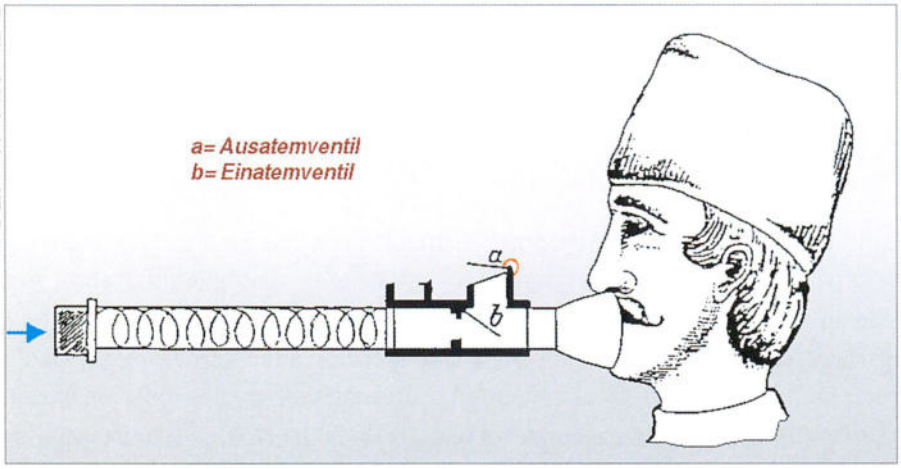
Stephen Hales, 1727

ken imprägnierten Atempassier - Diaphragmen beschrieben und durch eine Abbildung illustriert. Das wesentlichste an dem Gerät sind zwei Blasenventile zum Luft-Ein- bzw. Ausatmen, und eine Art Siebtrommel mit vier Salz imprägnierten, auf Siebrändern aufgespannten Flanellrahmen, die als Atempassier-Diaphragmen dienen und die Ausatemluft reinigen sollten. Als Atemmundstück verwandte er einen Fasszapfen, in den die zwei Blasenventile luftdicht eingeschlossen waren. Die Nasenöffnungen waren bei den Versuchen mit den Fingern verschlossen.

Um den Nachteil der übelriechenden Blase zu vermeiden, versuchte es Hales mit einem grossen Blasebalg, und er fand die dabei gewonnenen Resultate vielversprechend genug, um dieses oder ein ähnliches Instrument zu empfehlen, "wo es nöthig ist, an Oerter zu kommen, die mit erstickenden Dämpfen angefüllt seyn; zum Exempel einen Menschen oder andere Dinge darauf zu retten. Als etwa bei Anfang einer Feuersbrunst; oder im chymischen laboratorio, in Bergwercken; auf Schiffsgefässen, davon ein Theil voll stinckender Sachen läge etc. Auch für Taucher würde es nach meiner Meinung gut seyn".

Hales hatte damit bereits 1727 den ersten, primitiven Regenerationsapparat mit Kreislauf der Atmungsluft erfunden. Besonders wichtig

Entwicklung des Atemreglers, Teil II



Grafiken: ©Michael Jung, MTI-Press

Alexander von Humboldt, 1796

und richtungsweisend war aber die Verwendung von Ventilen. Er hatte seine Vorschläge allerdings außer im Versuchslabor nie im praktischen Einsatz erprobt. Als Botaniker wollte er nur anregend wirken, was ihm jedoch erst 70 Jahre später, als Alexander von Humboldt Hales Versuche in größerem Stil wieder aufnahm, gelungen ist.

Hales fundamentalen Versuche bildeten Ende des 18. Jahrhunderts die Grundlage für einige Nachfolger, wie etwa für den grossen Naturforscher Friedrich Alexander von Humboldt. 1792 wurde er Oberbergmeister von Bayreuth und Ansbach und begann 1793 mit der Erforschung der Matten Wetter. Seine Tätigkeit im fränkischen Bergbau hatte ihn mit den Gefahren bekannt gemacht, denen der Bergmann unter Tage ausgesetzt war.

Eine der heimtückischsten war nach wie vor der Erstickungstod, der vielerorts in den sauerstoffarmen oder gar giftigen Wettern abgelegener Grubenschächte lauerte. Die Frischluftzufuhr in die Grube war um 1800 noch ebenso schlecht wie zu Beginn des Tiefbergbaues um 1550. Die wenigen primitiven Hilfsmittel arbeiteten unwirtschaftlich und unzuverlässig. Neue Konstruktionen waren aus Unkenntnis der chemischen und physikalischen Verhältnisse unter Tage und mehr noch aus Interesselosigkeit der besitzenden Klassen gegenüber Untersuchungen, die statt höheren Gewinns "nur" größere Sicherheit für die Bergarbeiter zum Gegenstand hatten, nicht zu erwarten.

Humboldt suchte nach Mitteln, um den Aufenthalt der Bergleute in Matten Wettern und die Rettung von Verunglückten aus tödlichen Gasen zu ermöglichen. Er erfand zunächst eine Lampe, die den zum Brennen notwendigen Sauerstoff aus einem Lampenreservoir erhielt. Sie war also vollkommen von der sie umgebenden Atmosphäre unabhängig. Er verbesserte die Lampe mehrmals. 1798 konnte er den Bergleuten fünf verschiedene Lampentypen vorstellen.

Diese lichterhaltenden Lampen ergänzte er 1796 durch eine "Atemmaschine", einen transportablen Luftbehälter mit Schlauch und Atemmaske, um bei Erkundungen oder Rettungsarbeiten ungefährdet auch in giftigen Gasen arbeiten zu können. Humboldt übernahm die von dem Göttinger Hofrat Girtanner 1795 zum ersten Mal angewandte Klappen-Ventillagerung. Das Ausatmungsventil wird durch eine kleine Anpressfeder, deren Druck bem ausstoßen der Luft zu überwinden ist und dem Exspirationsdruck gerade schwach standhalten kann, geschlossen gehalten. Dieses Konstruktionselement war bereits 1786 von dem Franzosen Francois Henry Stanislas de l'Aulnaye erfunden worden.

Humboldt hatte aber als einer der ersten die Idee der Luftvorratsbehälter, welche er zunächst aus Wachstaft anfertigen ließ. Später wollte er sie aus Tierblasen anfertigen lassen. Der Mensch sollte den Luftbehälter auf dem Rücken in Form eines Sackes tragen, oder auf einem separaten kleinen Wagen in Gestalt eines Gasometers mit sich fortbewegen. Interessant ist, dass Humboldt sein Atmungsgerät zwar mehrmals erwähnte, aber es nur einmal, und zwar in seinem Buch von 1799, abbildete. Die Beschreibungen vorher hatte er aus Furcht vor Nachbauten ohne Abbildungen gelassen. Bei der Humboldtschen Atem-Halbmaske erfolgte das Einatmen mit dem Mund durch das Saugrohr, während das Ausatmen mittels Pendelatmung über eine spezielle Klappe in die irrespirable Atmosphäre erfolgte. Zum Augenschutz war von Humboldt eine Vollmaske vorgesehen. Humboldts Gesichtsmaske hatte Augengläser, war konvex vom Gesicht abstehend und aus Eisenblech gefertigt.

"Deren abentheuerliche Gestalt," meint Humboldt, "wird bey ernsthaften Menschen wohl keine Einwendung gegen ihren Nutzen seyn."

Der große Vorteil dieses Gerätes war die Möglichkeit, mit dem angeschlossenen Vorratsbehälter etwas tiefer in die Stollen einzudringen, als man es vorher mit Saugrohratemgeräten konnte. Der tragbare Behälter enthielt etwa 0,25 qm Luft, er wurde auf dem Rücken getragen und reichte für etwa 10 bis 15 Minuten. Ein fahrbarer Behälter enthielt sogar 1 qm Luft und erlaubte einen entsprechend längeren Aufenthalt. Die Vorratsbehälter wurden mit einem Blasebalg gefüllt. Humboldts Atmungsgerät konnte aber auch ohne Reservoirbehälter benutzt werden. Dann musste das Ansaugende des Schlauches in den Frischen Wettern liegen.

Hier ist noch festzuhalten, dass Alexander von Humboldt nicht, wie oft fälschlich dargestellt, der erste Erfinder und Konstrukteur eines Atmungsgerätes war. Vor ihm hatten es schon 1727 Stephan Hales, 1785 Pilatre de Rozier, 1786 de L'Aulnaye, 1790 Robert Menzies und 1795 Hofrat Girtanner mehr oder weniger erfolgreich versucht. Humboldts Beitrag war vor allem die ausgiebige praktische Erprobung seiner Vorschläge. Keines der Geräte von Humboldts Vorgänger war über das Versuchsstadium hinausgekommen. Humboldt ließ jedoch eine Anzahl seiner Geräte bauen und in den verschiedensten Bergbaurevieren erproben. Ihre Konstruktion fand allgemein Anerkennung; angewandt wurden sie trotzdem nur vereinzelt, weil ihr Gebrauch doch noch etwas umständlich war, aber vor allem weil die wenigsten Grubenbesitzer daran dachten, für eine solche Sache Geld auszugeben. Erst die großen Grubenunglücke des 19. Jahrhunderts in Verbindung mit dem wachsenden Klassenbewußtsein der Arbeiter veranlaßten die Bergwerkseigentümer, mehr für die Sicherheit der Bergleute zu tun, um deren wachsende Unruhe zu dämpfen.

Das lebhafte Interesse der deutschen Bergleute, das Humboldt während der Ausarbeitung

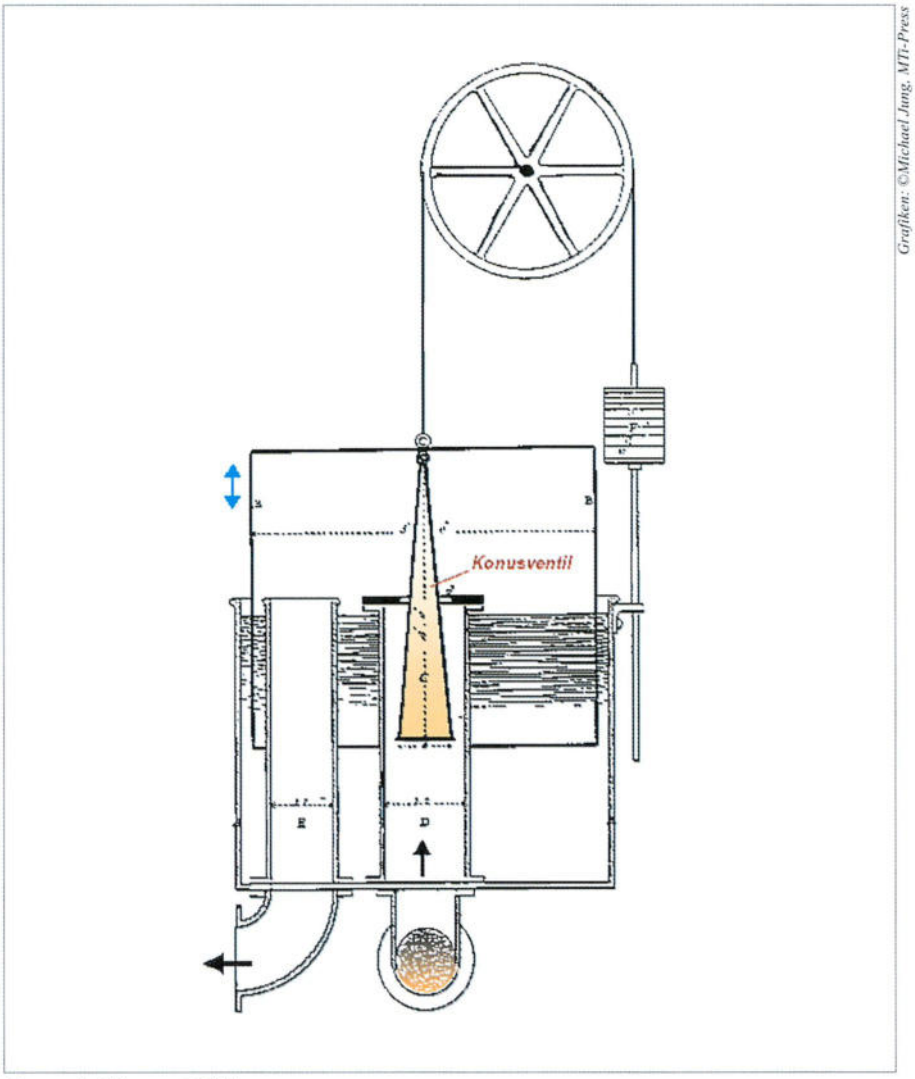
seiner Gedanken fand und durch stetigen Kontakt mit einer Reihe von namhaften Bergleuten wachzuhalten wußte, ließ sehr bald nach, als er der Praxis den Rücken kehrte und sich den reinen Naturwissenschaften zuwandte. Vor allem in Frankreich wurden die Erfindungen Roziers und Humboldts mit mehr Interesse verfolgt, und die bald einsetzenden Bestrebungen zu Vervollkommnung des Rettungswesens fanden bei den Behörden weitgehende Unterstützung.

Basierend auf diesen ersten, einfachen Atemgeräte-Konstruktionen des ausgehenden 18. Jahrhunderts wurden im beginnenden 19. Jahrhundert von den verschiedensten Erfindern Hilfsmittel für Bergwerke und Feuerwehren gebaut, und es würde hier zu weit gehen, auf alle einzugehen. Es entstanden die verschiedensten Bauversionen für Rauchschutzhauben und Grubenatmungsgeräten. Die Saugrohratemgeräte erwiesen sich bereits bald für den Einsatz unter Tage als vollkommen ungeeignet. Die geringste Undichtigkeit konnte schon für den Benutzer tödlich wirken, weil er auch durch diese Undichtigkeit Umluft, also auch unatembare Luft oder giftige Gase, ansaugen konnte. Außerdem war ihr Aktionsradius sehr begrenzt. Sie wurden deshalb nur vereinzelt und dann nur mangels eines anderen Gerätes eingesetzt.

Weit besser geeignet erwiesen sich die Druckluftgeräte. Es liegt aber auf der Hand, dass die Technik der Klappenventile nur bei Saugrohratemgeräten richtig funktionieren kann, nicht aber bei Druckgeräten. Der Mangel an einem geeigneten Mechanismus bzw. Regulator offenbarte sich dabei sehr schnell. Von eben diesem Mangel wurde auch die Weiterentwicklung der Tauchtechnik gehemmt. Der weitere Weg der Atemgeräte für Bergbau und Taucherei war also vorgezeichnet: Es mussten Druckluftgeräte erfunden werden, welche spezielle Regulatoren besaßen, mit deren Hilfe der Atemluftzustrom richtig dosiert werden konnte. Einzelne Konstruktionselemente und Grundkonzeptionen waren bereits vorhanden, was aber noch fehlte, war der entscheidende Durchbruch. Dieser gelang in der Gaslichttechnik.

Die Anfänge der Gaslichttechnik liegen schon ebenso lange zurück wie die des Tauchens. Die Chinesen beispielsweise wußten bereits vor vielen Jahrhunderten von der Möglichkeit, Steinkohlengas zu Beleuchtungszwecken einzusetzen. Man fand bei Ausgrabungen Rohrleitungen aus Bambus, mit deren Hilfe sie bereits um das Jahr 200 ihre Wohnungen mit Steinkohlengas versorgten. Johann Johannes Becher erwähnte 1682 in seinem "Chemischen Glücks-Hafen oder Grosse Chymische Concordantz" die Brennbarkeit von Steinkohlengas. Der belgische Apotheker Jan Pieter Minckelaers stellte 1783 in größerem Umfang aus Steinkohle erzeugtes Gas zu Beleuchtungszwecken und technischen Zwecken her und begründete damit die Industrie des Leuchtgases. Er berichtete 1784 darüber in seinem "Mémoire sur l'air inflammable". 1785 erleuchtete er damit seinen Hörsaal in Löwen. Aber man verwandte nicht nur Steinkohlengas zur Beleuchtung, sondern schon früh auch Gas, welches aus Holz und Öl bereitet wurde, wie etwa 1786 von Phillipe Lebon d'Hambersin. Vor allem in England war man sehr daran interessiert, das rußende und flackernde Petroleumlicht abzuschaffen und gegen das hellere, rußfreie und preiswertere Gaslicht einzutauschen. Deshalb erlebte dort die Gaslichtindustrie einen besonders rasanten Aufschwung. Hier war es zunächst der schottische Ingenieur William Murdock (vormals Murdoch), welcher unabhängig von Lebon ähnliche Experimente machte, und bereits 1792 das Steinkohlengas zur Beleuchtung seines Hauses und der Werkstätte zu Redruth in Cornwall verwandte.

Die Minen, aus denen Murdock sein Gas entnahm, lagen einige Meilen von seinem Haus entfernt. So füllte sich Murdock jedesmal für den abendlichen Heimweg einige grosse Blasen mit Gas und brachte an sie eine kleine Düse an, wo er an dem ausströmenden Gas eine Flamme entzünden konnte. Er klemmte sich diese Blase unter den Arm, und durch den

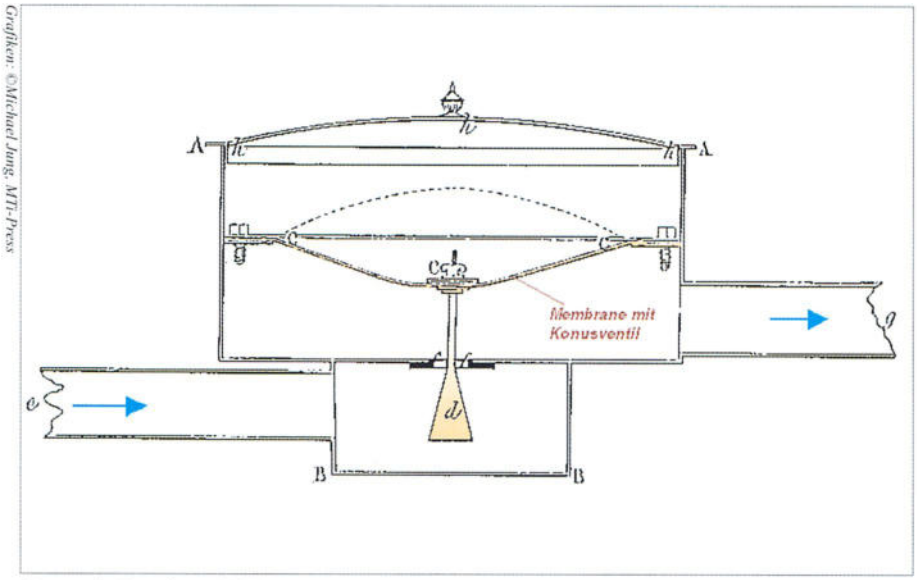


Grafiken: ©Michael Jung, MTI-Press

Samuel Clegg, 1817

Entwicklung des Atemreglers, Teil II

Grafiken: ©Michael Jung, MTI-Press



Samuel Crosley, 1825

ständigen Druck strömte das Leuchtgas durch die Düse. Mit dieser hellen Gasfackel beleuchtete er seinen Heimweg von den Minen bis zu seinem Haus. Da diese Methode damals vollkommen unbekannt war und man nur Kerzen oder kleine, transportable Öllichter kannte, sprachen die Einwohner des Ortes von dem hellen, wandernden Feuerschein im dunklen Wald von Magie und Hexerei. Murdock war 1792 auch der erste, der komprimiertes Gas für zukünftige Verwendung in speziellen Behältern speicherte.

1819 patentierten D. Gordon und E. Heard einen Prozess, um Ölgas in Zylindern auf 6 bis 10 bar zu komprimieren, damit es problemlos weitertransportiert und an die Endverbraucher verkauft werden kann. Dies führte um 1825 zu der kurzlebigen "Portable Gas Company". Dieses komprimierte Gas wurde vor allem dafür verwandt, um Positionslichter auf Schiffen oder in Schwimmbojen zu versorgen. 1810 bestätigte das englische Parlament die von Frederick Winsor zusammengebrachte erste Gasbeleuchtungsgesellschaft für London, die "Chartered Gaslight and Coke Company", oftmals auch als "Chartered Company" bezeichnet. Sie erhielt das königliche Privileg am 30. April 1812, und dieser Tag markiert gleichzeitig den Beginn der Gaslichtindustrie in England.

Obwohl Mühlen, Schulen und andere größere Einrichtungen eigene Gaslichtinstallationen und Gasspeicher besaßen, lag die Zukunft doch in der zentralen Versorgung der breiten Öffentlichkeit mit Kohlengas. Und so wurden ab 1812 die verschiedenen Ortschaften Englands mit einer Leuchtgasversorgung ausgestattet. 1815 waren in London bereits rund 100 Kilometer Gasleitungen verlegt. Um die Belastungen der Rohrleitungen und die Verluste bei einer Undichtigkeit gering zu halten, wurden natürlich auch hier spezielle Druckreduzierventile und Regler benötigt. Außerdem musste ein konstanter Gaszustrom sichergestellt werden, damit die Flamme ruhig brannte und nicht flackerte oder erlosch. Nur unter einem gewissen Druck des Leuchtgases wird die maximale Lichtentwicklung erreicht.

Samuel Clegg, bis 1805 Assistent von Murdock und anschließend Ingenieur der "Chartered Co.", erfand 1817 einen einfachen Gasdruckregulator (Stadtdruckregler), durch den der Abgabedruck, d.h. die Menge des abgegebenen Gases, dem Verbrauch entsprechend reguliert wird. Es handelte sich dabei um eine einfache Glocke, die umgestülpt im Wasser steht. Im Zentrum der Glocke befindet sich ein konischer Stift, der je nach der Position der Glokke mehr oder weniger Gas durch die Düse strömen lässt. Nimmt nun durch starken Gasverbrauch das Volumen des Gases in der Glocke ab, senkt sie sich, und das Ventil wird mehr geöffnet - es strömt also Gas in das Reservoir unter die Glocke nach, und es ist ein gleichmäßiger Gasstrom und -druck zum Verbraucher sichergestellt.

Der Druck ist variabel einstellbar durch einen Seilzug, der mit verschiedenen Gegengewichten belastet wird und so mehr oder weniger Glockengewicht abfängt. Diese primitive Reglerkonstruktion mit konischem Ventil von 1817 war richtungsweisend für alle nachfolgenden Gasregler.

Bestimmend für die endgültige Konstruktion von kleineren Gasdruckreglern wurde aber ein anderer: Samuel Crosley aus London konstruierte 1824 zunächst einen selbstregistrierenden Gasdruckmesser, der die Veränderungen des Gasdruckes, wie sie im Laufe des Tages stattfinden, fortlaufend in Kurven selbsttätig auf Papier verzeichnet. 1825 patentierte Crosley eine "Verbesserung in der Konstruktion von Gasregulatoren", um einen gleichmäßigeren Zustrom des Gases zum Brenner zu ermöglichen. Dabei handelte es sich um einen membrangesteuerten Regler, der unseren heutigen bereits sehr nahe kam. Er bestand aus einer flexiblen Membrane in einem runden Gehäuse, welche sich auf und ab bewegen konnte. Dadurch bewegte sie ein Ventil, welches ähnlich wie bei Clegg mit einem konischen Ventil versehen war und verschieden grosse Gasmengen durchströmen lies. Die Membrane wird durch kleine Gewichtsscheiben bei "C" vorgespannt, so dass das Ventil im Ruhezustand schwach geöffnet ist. Wurde dann der Brenner entzündet und hochgedreht, senkte sich durch die Sogwirkung der Düse (Injektorprinzip) die Membrane entsprechend und es konnte mehr Gas durch das Ventil strömen. Wollte man, dass der Brenner schwächer brennt, drehte man das Handventil zu, die Sogwirkung lies nach und die Membrane hob sich wieder.

Nach diesen Erfindungen des frühen 19. Jahrhunderts lagen also spätestens 1825 wesentliche Konstruktionselemente des bedarfgesteuerten Atemreglers wie federbelastete, konische Ventile und undurchlässige Membranen vor. Nun ging es darum, die Gasdruckregler für den Einsatz in Atemgeräten umzufunktionieren, denn prinzipiell gleichen sich beide Anwendungsarten: Ob als Endverbraucher ein Gaslicht oder eine menschliche Lunge eingesetzt wird, ist von sekundärer Bedeutung.

(Wird fortgesetzt in DIVEMASTER 2-2000).

Literatur:
Jung, Michael: Das Handbuch zur Tauchgeschichte. Stuttgart, 1999.
-,-: Atemreglerhistorie. Technikgeschichte des bedarfsgesteuerten Atemreglers für Drucklufttauchgeräte. Merzig, 2000.

Die Entwicklung des bedarfsgesteuerten Atemreglers - Teil III

Der zunehmende Gebrauch von Reglern in der Gastechnik hat eine bedeutsame Parallele in der Tauchtechnik: Auch hier erfolgte die Umstellung von Atemgeräten mit kontinuierlich fließendem Luftstrom, die dadurch natürlich sehr unwirtschaftlich waren, auf solche, die mit Hilfe eines speziellen Reglers nur nach Bedarf Luft lieferten. Die entsprechende Technologie war in der Gastechnik seit etwa 1817 vorhanden, es fehlte nur noch jemand, der ihre Übertragbarkeit auf den Unterwassereinsatz erkannte und die entsprechende Adaption eines Gaslampenreglers für die Verwendung beim Tauchen durchführen konnte. Michael Jung berichtet für *DIVEMASTER* in diesem Teil seiner Serie von der Anpassung der Gasdruckregler für den Unterwassereinsatz.

Der Technologietransfer von der Gaslichthin zu der Tauchtechnik geschah um 1827. Damals wurde dem Franzosen Jean-Jeremie Pouilliot aus Paris ein Patent für einen Gasdruckregler zugeteilt, der in Verbindung mit einem autonomen Tauchgerät auch unter Wasser eingesetzt werden konnte (siehe *DIVEMASTER* 04/96). Der Mechanismus war zwar primitiv, aber er beschrieb den ältesten, bislang bekannten Entwurf für einen bedarfsgesteuerten Atemregler in Verbindung mit einem autonomen Tauchgerät. Leider ist nicht bekannt, ob das Tauchgerät von Pouilliot gebaut und eingesetzt wurde.

Pouilliot scheint die Verhältnisse und technischen Einrichtungen der Gaslampenversorgung einer Stadt einfach unter Wasser verlegt zu haben. Er entwarf zunächst ein Unterwasserhaus, das durch Sandsackballast ganz versenkt werden konnte. In seinen weiteren Ausführungen beschrieb er ein autonomes Tauchgerät, mit dessen Hilfe Arbeiter das Haus längere Zeit verlassen konnten. Bei diesem autonomen Tauchgerät trägt der Taucher einen offenen Helm und einen separaten Druckluftank auf dem Rücken. Der wichtige Atemregler wurde oben auf dem Tank montiert und war durch ein Rohr mit dem Innenraum des Helmes verbunden.

Pouilliot beschrieb zwei Reglervarianten: Der erste Regler war ein Kolbentyp. Der Wasserdruck drückt hierbei den Kolben nach unten, und über einen Hebelmechanismus wird ein Ventil geöffnet. Die Druckluft kann nun solange aus dem Tank in die Atemkammer strömen, bis der Druck dort dem Umgebungsdruck angeglichen war, dann schloß das Ventil. Es ist offensichtlich, dass dieser Kolbenregler wohl kein besonders empfindliches Ansprechverhalten hatte. Pouilliot beschrieb deshalb ein weiteres, verbessertes und empfindlicheres Ventil, das statt des Kolbens mit einer Membrane versehen war. Durch sie wurde der Luftfluß etwas feiner reguliert.

Neben dieser recht gut durchdachten Konstruktion gibt es noch eine zweite von einem anderen französischen Erfinder. Sie stammt von 1838 und umfasst neben einem bedarfsgesteuerten Atemregler noch überraschend viele, andere Bestandteile unseres modernen Tauchgerätes. Es handelt sich dabei um das Patent für ein Tauchgerät von Theodore Guillaumet (siehe *DIVEMASTER* 01/96 und 04/98).

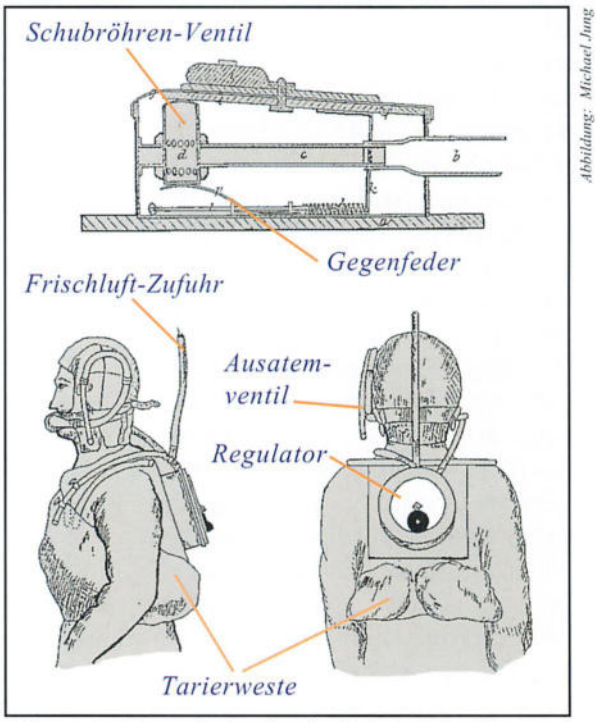


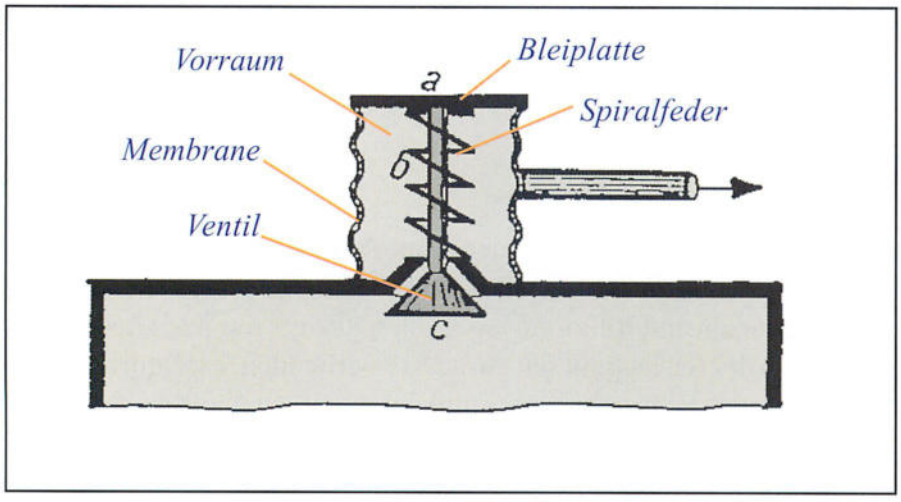
Abbildung: Michael Jung

Oben ein Querschnitt durch den Atemregler von Theodor Guillaumet, unten sein Taucher mit Tarierweste, 1838. Man erkennt gut das Gewichtsstück auf der Membrane. (Archiv: M. Jung)

Sein Regler arbeitet mit einem Hebelsystem, das auf ein sich linear in einer Führung bewegendes, gelochtes rohrförmiges Schubventil wirkt, sowie aufgrund von Druckdifferenzen auf beiden Seiten einer Membrane. Das Einatemventil befindet sich auf der einen Seite der Membrane in einer separaten Kammer, der Wasserdruck liegt auf der anderen Seite an und veranlaßt die Membrane abhängig von der Größe des Druckdifferenz zu einer Lageänderung. Dadurch verschiebt sie das gelochte Röhrenventil und aktiviert den Luftstrom zum Mundstück des Tauchers. Es baut sich solange auf der Einatemseite ein Druck auf, bis die Druckdifferenz beseitigt, die Membrane in ihre neutrale Position zurückgekehrt und das Ventil wieder geschlossen ist. Die großflächige Membrane brachte unter anderem eine größere Empfindlichkeit und damit genauere Abstimmung auf den Umgebungsdruck mit sich. Ähnlich wie bei unseren modernen Zweischlauchautomaten verwendet Guillaumet ein Mundstück mit einem Paar Einwegventile, die den Luftstrom zum Taucher und dann

Entwicklung des bedarfsgesteuerten Atemreglers - Teil III

Abbildung: Michael Jung



Der Konstruktionsvorschlag für einen Atemgasregler von Charles Combes, aus dem Jahre 1845.

nach außen in das Wasser leiten. Ein gebogenes Ausatemrohr soll sicherstellen, dass unabhängig von der Lage des Tauchers kein Wasser in den Schlauch eindringen kann. Guillaumet führte im Sommer 1839 mehrere Testtauchgänge in der Seine und dem Hafen von Cherbourg in bis zu 16 Meter Tiefe durch.

Jean-Jeremie Pouilliot und Theodore Guillaumet waren ihrer Zeit leider zu weit voraus, und sie werden wohl mit ihrer Erfindung, die heute weltweit von Millionen Menschen eingesetzt wird, kein Geld verdient haben. Pouilliot gebührt nach unserem heutigen Wissen der Lorbeerkranz für den ersten Entwurf eines bedarfsgesteuerten, einstufigen Atemreglers in Verbindung mit einem autonomen Druckluft-tauchgerät, auch wenn er es nicht so ausführlich beschrieb wie Theodore Guillaumet. Dessen Erfindung war kein autonomes Tauchgerät, da er nach wie vor eine Oberflächenversorgung vorsah, allerdings hätte sein Atemregler, wenn man ihn an eine Druckluftflasche angeschlossen hätte, ohne Zweifel ein sehr gutes autonomes Gerät ergeben. 1838 gab es aber weder Pumpen für eine Hochkomprimierung der Druckluft noch geeignete Behälter für sie, so dass Guillaumet eine Atemluftversorgung durch einen Schlauch von einer Pumpe an der Oberfläche hin zu seiner großen Einatemkammer vorsah.

Guillaumets Erfindung wurde ebenso wie die von Pouilliot von den oberflächenversorgten, geschlossenen Helmtauchergeräten überschattet, die zur gleichen Zeit durch Augustus Siebe in England auf dem Markt gebracht wurden und ein neues Zeitalter der Tauchtechnik einläuteten, und geriet wohl in Vergessenheit. Was noch fehlte war die entsprechende Hochdrucktechnik, sowie handliche Druckluftflaschen, die mit mindestens 100 bar gefüllt werden konnten und damit einen effizienten Einsatz der autonomen Tauchgeräte ermöglichten. Die Wege, die manche Erfindungen gehen, bis sie sich etablieren können, sind oft verschlungen, und oft "wird das Rad neu erfunden". Dies gilt ganz besonders für den bedarfsgesteuerten Atemregler, der noch einigemal "erfunden" werden mußte, bis er seinen festen Platz an der Tauchausrüstung fand.

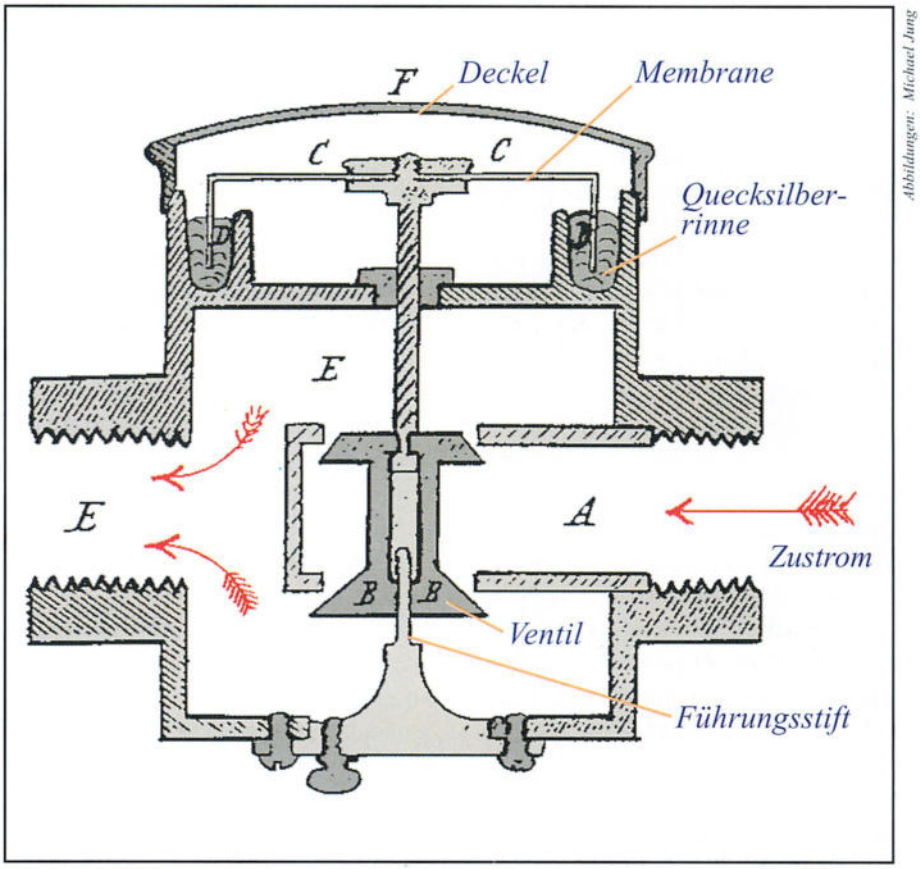
1845 stellte der königlich-französische Oberingenieur und Professor der Bergbaukunst an der Bergwerksschule zu Paris Charles Combes in seinem "Handbuch der Bergbaukunst" ebenfalls einen einfachen, bedarfsgesteuerten Atemregler vor. Sein Atmungsregulator gilt als direkter Vorläufer des später so berühmt gewordenen Regulators von Benoit Rouquayrol. Wie Combes schrieb, stammt seine Funktionsweise aus der Gaslichttechnik und wurde von dort für die Anwendung bei Atemgeräten adaptiert: "Statt der ledernen Säcke, welche mit Luft von atmosphärischem Druck angefüllt sind, kann man im Grubenrettungswesen auch Behälter von Blech von weit geringerer Räumlichkeit haben, welche zusammengedrückte Luft enthalten. Diese Behälter müssen mit einem sinnreichen Apparat versehen sein, dessen man sich auch bedient hat, um das Ausströmen des Leuchtgases, welches man auch in metallische Gefäße zusammendrückt, zu regulieren. Wir sahen Gefäße von Blech, etwa von einem Hectoliter räumlichen Inhalt, welche von der alten Compagnie des tragbaren Gases (Portable Gas Companie) angewendet worden waren, und welche mehrere Monate lang Gas unter 8 bis 10 Atmosphären Druck enthalten konnten."

Da Combes seiner Beschreibung keine Skizze beigefügt hat, wird hier der Versuch gemacht, die Wirkungsweise des Regulators nach seiner Beschreibung zu erläutern: Eine Bleiplatte a, die den durch einen blasebalgartigen Lederzylinder elastisch begrenzten Vorraum b des Reservoirs nach oben abschließt, öffnet durch ihr Gewicht direkt oder über ein Hebelsystem das konische Ventil c und lässt so viel Luft in den Vorraum einströmen, wie ihrem Gewicht entspricht. Dann schließt sich das Ventil, und der Atmende entnimmt Luft aus dem Vorraum. Durch das hierbei entstehende Vakuum öffnet sich das Ventil wieder, und das Spiel wiederholt sich. Combes schreibt, dass die Wirkung des Gewichts der Scheibe auch durch eine Feder ersetzt werden kann. Interessant ist hierbei, dass der Atemregler keine flache sondern blasebalgartige Membrane besaß. Dadurch erhöhte sich zwar die Membranoberfläche, der Bauraum war aber geringer als bei gleich grossen, flachen Membranen.

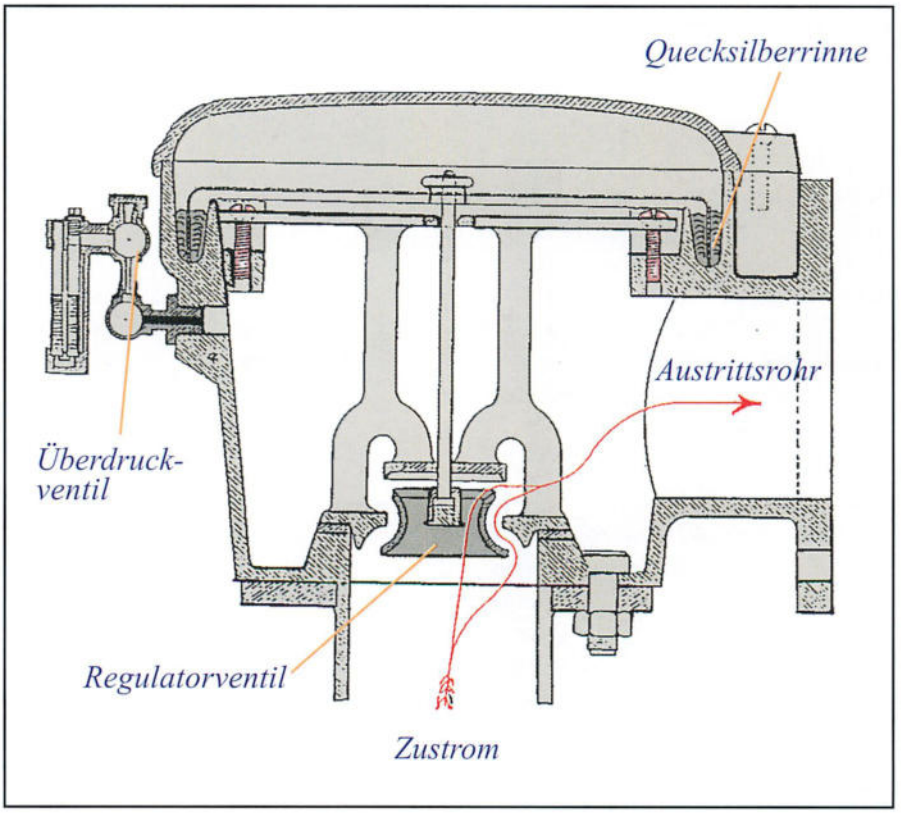
Das Reservoir bestand aus einem zylindrischen Gefäß mit halbkugelförmigen Ende, 25 bis 26 Zentimeter im Durchmesser, 0,73 Meter lang, welches 0,33 qm komprimierte Luft fasste. Eine Maske bedeckte Nase und Mund, auch hier sind in dem Mundstück zwei Klappenventile zum Ein- und Ausatmen vorhanden.

Erst um 1864 gelang dem Atemregler den entscheidenden Schritt in die Tauchpraxis, denn zwischen 1860 und 1862 wurden mehrere Gasdruckregler erfunden, welche gut ausgearbeitet waren und problemlos funktionierten. Zunächst ist es der von Parkinson patentierte stationäre Gasregulator. Dieser Apparat, welcher sich, wie es scheint, in der Praxis gut bewährt hat, bewirkt die Regulierung des Gasstromes durch ein Ventil, das mit seiner Kappe in einer Quecksilberrinne schwimmt und durch die Höhe der Quecksilbersäule in seiner Stellung fixiert wird. Der Vorteil des Quecksilbers war, dass es einen sehr niedrigen Gefrierpunkt hat und so die Membrane auch bei niedrigen Um-

gebungstemperaturen noch sehr leichtgängig war. Eine Lederabdichtung würde schon wesentlich früher steif werden und die leichte Bewegung der Membrane erschweren.
Das Gas tritt bei A in Richtung des Pfeiles ein, geht durch das Ventil B zu der Kammer E und in der Richtung der Pfeile weiter. Das Ventil ist, wie man sieht, ein doppeltes an einer einzigen Achse. Die Verlängerung dieser Achse trägt die Kappe C,C, deren Rand in der Quecksilberrinne D,D taucht. Der ganze Apparat ist durch einen Deckel gegen äußere Beschädigung geschützt. Der Regulator wird so befestigt, dass die Quecksilberrinne genau horizontal steht.
Edward Ferguson erfand 1861 einen anderen selbständigen Gasregulator und beschrieb ihn wie folgt: "unten ist das Eintritts-, rechts das Austrittsrohr. Das Regulatorventil hat eine besondere Form, so dass es nur seitlichen Druck auszuhalten hat. Durch seine niedrige Aufstellung ist es möglich, der Glocke des Regulators nur eine Mittelführung zu geben und die Seitenführungen wegzulassen. Die membranartige Glocke ist aus leichtem Eisenblech angefertigt; sie bedarf daher keines Gegengewichtes, sondern muss sogar zur Regulierung des Druckes mehr oder weniger belastet werden. Der Deckel schließt den ganzen Apparat, und schützt ihn gegen äußere Einwirkungen. Die Glocke ist in einer Quecksilberrinne aufgehängt; sie kann also auch vom Froste nicht leiden."
Eine von der Mülhauser Industrie-Gesellschaft ernannte Kommission zur Begutachtung dieser Regulatoren hat die Urteile verschiedener sachverständigen Industriellen eingeholt, welche die Regulatoren längere Zeit angewandt hatten. Es geht aus ihrem Bericht folgendes hervor: "Die Ferguson'schen Regulatoren sind dazu bestimmt, an verschiedenen Punkten der Gasleitung angebracht zu werden und bei den dazu gehörigen Brennern ein gleichmäßiges Brennen und mithin Gasersparnis zu erzielen. Diese Ersparnis und die Regelmäßigkeit des Druckes ist in allen Fällen erzielt worden, wo nicht ganz besonders störende Verhältnisse vorliegen; alle Urteile sprechen sich hierin günstig aus; natürlich ist die Ersparnis nur annähernd ermittelt und daher auch verschieden angegeben worden. Die angeführten Zahlen wechseln zwischen 10 und 27 Prozent. Der gerügte Übelstand,



Der Gasdruckregler von Parkinson, 1861.



Der Gasdruckregler von Edward Ferguson, 1861.

Abbildungen: Michael Jung

Entwicklung des bedarfsgesteuerten Atemreglers - Teil III

dass die Schwere des Quecksilbers einen zu geringen Spielraum für die Glocke ermögliche, würde nach dem Urteil der Kommission dadurch zu vermeiden sein, dass man Glycerin statt des Quecksilbers anwendet, was natürlich auch den Preis des Instrumentes erniedrigen würde."

Ein ganz besonders wichtiges Detail ist das erstmals an dem Regler von Ferguson links zu sehende Überdruckventil. Es sollte verhindern, dass sich durch eine zurückschlagende Flamme ein zu großer Überdruck in der Gaskammer aufbaut und dadurch die Kappe beschädigt wird oder ganz aus der Quecksilberrinne abhebt. Dieses Überdruckventil wurde kurze Zeit später bei dem Atemregler von Rouquayrol als Ausatemventil umfunktioniert.

Das Problem der Abdichtung der beweglichen Glocke von dem feststehenden Gehäuse beseitigte M. Leffingwell aus New York, der 1864 einen Druckregulator für Leuchtgas patentierte, welcher nicht mit Quecksilber oder einer Flüssigkeit arbeitet, sondern mit einer flexiblen Membrane. Damit konnte unter anderem der Regulator auch lageunabhängig verwandt werden. Die zugehörige Abbildung stellt seinen Regulator im Schnitt durch die Achse dar. Die Membrane besteht aus einer Lederscheibe, welche zwischen zwei Metallscheiben mittels zweier Muttern am Stift des Ventils gehalten wird. Diese Scheiben sind so gewölbt, daß sie auf das Leder nur an dem Umfang drücken, und bestehen aus einem Metall, welches von den Bestandteilen des Gases und der sich bildenden Niederschläge nicht angegriffen werden kann. Die Flantsche des eisernen Reglergehäuses sind mit demselben Metall überzogen, so daß der vom Gas mitgerissene Steinkohlenteer das Eisen nicht zerfressen kann. Der Deckel ist so aufgesetzt, daß er leicht abgenommen werden kann. Das Gas tritt unten ein, geht zwischen dem konischen Ventil und dessen Sitz durch und dann durch die Öffnung rechts oben zu den Brennern. Eine kleine Schraube verschließt eine Öffnung, durch welche Kondensat entfernt werden kann.

Diese Gaslichtregulatoren, und vor allem der letzte von Leffingwell, waren weitestgehend ausgereift und auch als Atemregler geeignet. Ein französischer Erfinder setzte tatsächlich fast zeitgleich einen solchen Regulator nicht mehr nur für Gaslicht sondern auch für Atemgeräte praktisch ein: Der französische Grubeningenieur Benoit Rouquayrol entwickelte um 1860 ein Rettungsgerät, mit dem Hilfsmannschaften den Bergleuten im Falle eines Grubenunglückes zu Hilfe kommen sollten. Er führte damit die Errungenschaften der Gaslichttechnik mit dem Grubenrettungswesen zusammen. Das Gerät wurde aber nicht nur über Wasser eingesetzt, sondern recht bald auch in einer etwas umgebauten Version in überfluteten Stollen und Brunnenschächten. Das brachte den Marineoffizier Auguste Denayrouze auf die Idee, aus dem Rettungsgerät für Bergleute von Rouquayrol mit nur geringfügigen Umbauten ein Tauchgerät zu entwickeln. Er schloß sich mit Rouquayrol zusammen, und beide erhielten im Laufe der nächsten Jahre rund ein Dutzend verschiedene Patente für ihren Taucher- und Minenapparat (siehe *DIVEMASTER* 01/98).

Die ursprüngliche Konstruktion von Rouquayrol hat im Laufe der nächsten 10 Jahre mehrfache, teilweise erhebliche Verbesserungen erfahren. Alle Patente basierten auf dem gleichen Grundprinzip der Druckreduzierung und -anpassung, das auch schon andere vorher angewandt hatten. Der ursprüngliche Atemregler von Benoit Rouquayrol bestand aus einer einstufigen, einkammerigen und membrangesteuerten Reduziereinrichtung ähnlich der Beschreibung von Combes von 1845. 1862 erweiterte Rouquayrol sein Patent um ein "Mundstück aus vulkanisiertem Kautschuk, das an einem metallischen Schnabelstück befestigt ist." Dieses Mundstück wurde beim Tauchen ohne Helm oder Gesichtsmaske mit ungeschützten Augen eingesetzt, wobei die Nase mit einer Klemme verschlossen werden sollte.

Der Entwurf von Rouquayrol war ebenso simpel wie all seine Vorgänger: Der Tornisterapparat besteht aus zwei durch eine dünne Blechwand getrennte, durch ein nach unten zu öffnendes Ventil verbundene Teile, dem unteren Horizontalzylinder - dem "Reservoir" für sieben bis acht Liter Luft unter einem Druck von 30 bis 40 bar - und dem oberen Vertikalzylinder, der "Luftkammer" oder "Atemkammer". In dem unteren Zylinder ist der Luftzuführungsschlauch von der Pumpe an der Oberfläche angeschraubt.

Beide Teile sind an einem Trageblech angelötet und werden auf den Rücken geschnallt. Den Deckel des oberen Zylinders bildet eine durchlöcherte Blechscheibe mit einer darunter liegenden, runden Kautschukplatte. Sie ist unten durch eine Metallscheibe verstärkt. Dieser Kautschukdeckel ist mit den Wänden her-

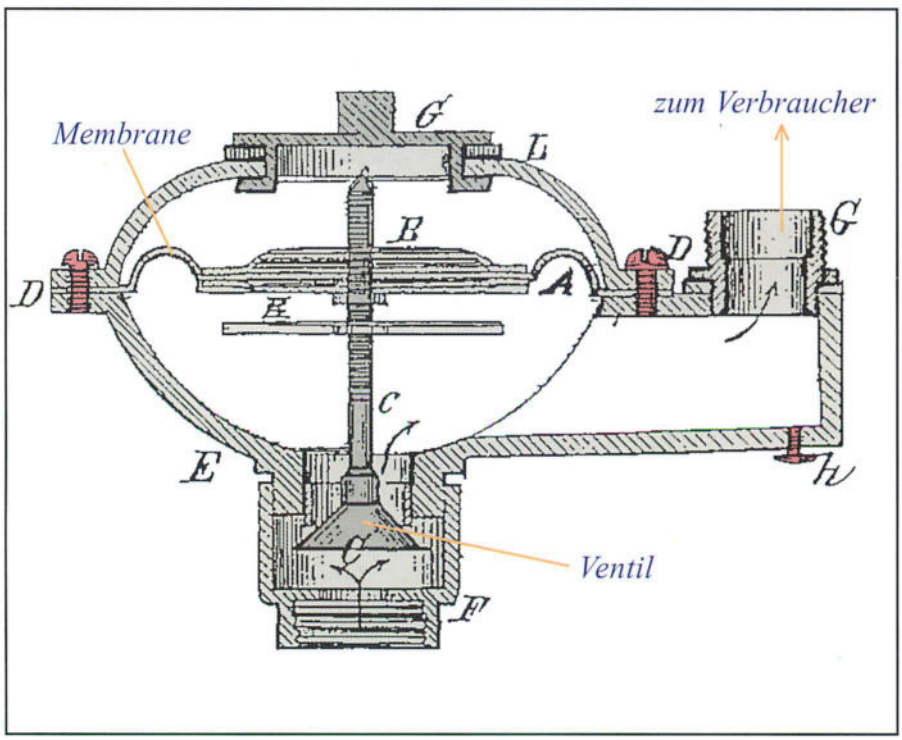


Abbildung: Michael Jung

Der Gasdruckregler von M. Leffingwell, 1864.

metisch verbunden, ruht aber zugleich auf dem Schaft des Ventils in der Mitte der Atemkammer und bildet so eine nach oben und unten bewegliche Membrane.
Sobald der Taucher unter Wasser geht, drückt die Wassersäule den Kautschukdeckel ein und damit den Ventilschaft hinunter. Dadurch öffnet sich das Ventil, und die Luft des Reservoirs strömt nach oben in die Atemkammer, füllt sie und hebt, sobald sie die Stärke des Wasserdrucks erreicht hat, den Deckel. Somit hebt sich auch der Ventilschaft und das Ventil schließt sich. Der in der gefüllten Atemkammer herrschende Druck entspricht also stets dem durch die Tauchtiefe bedingten Umgebungsdruck.
Die Atemkammer steht über einen Schlauch mit dem Mundstück des Tauchers in Verbindung. Macht der Taucher einen Atemzug, entnimmt er der Atemkammer die seiner Tiefe entsprechend verdichtete Luft. Durch den Unterdruck in der Atemkammer öffnet sich das Ventil und Druckluft strömt nach. Anschließend stösst der Taucher mittels Pendelatmung die verbrauchte Luft durch den Mundschlauch in die Atemkammer zurück. Von dort dringt sie in ein oberhalb angebrachtes Ausatmungsröhrchen und von hier durch ein Entenschnabelventil ins Wasser. Das Ausatemventil entstand durch das einfache Umfunktionieren des bereits erfundenen Überdruckventils an den Gasreglern.
Diese Vorgänge wiederholen sich bei jedem Atemzug. Der Taucher atmet also wieder in die Atemkammer zurück, so daß nur ein Teil der Ausatemluft durch das Ausatemventil entweicht, ein Teil wird erneut eingeatmet. Einen ebensolchen Regulator verwandte Rouquayrol auch für die Druckluftzufuhr zu seiner unterseeischen Lampe.
In den Jahren 1864 bis 1867 folgten weitere Modifikationen und Verbesserungen. Um das Problem des Auskühlens des Tauchers zu beseitigen sowie seine Sicht zu verbessern, wurde das Regulatorgerät mit dem geschlossenen Helmtauchanzug kombiniert. Versuche in verschiedenen französischen Häfen bewiesen in dieser Zeit die Überlegenheit des Regulatorgerätes im Vergleich zu den bisher vorwiegend verwendeten, schlauchversorgten Helmtauchergeräten: Die sehr große Handlichkeit verblüfft die Berufstaucher, sowie der ungewohnte Atemkomfort. Durch die Pufferwirkung des zwischengeschalteten Druckbehälters waren

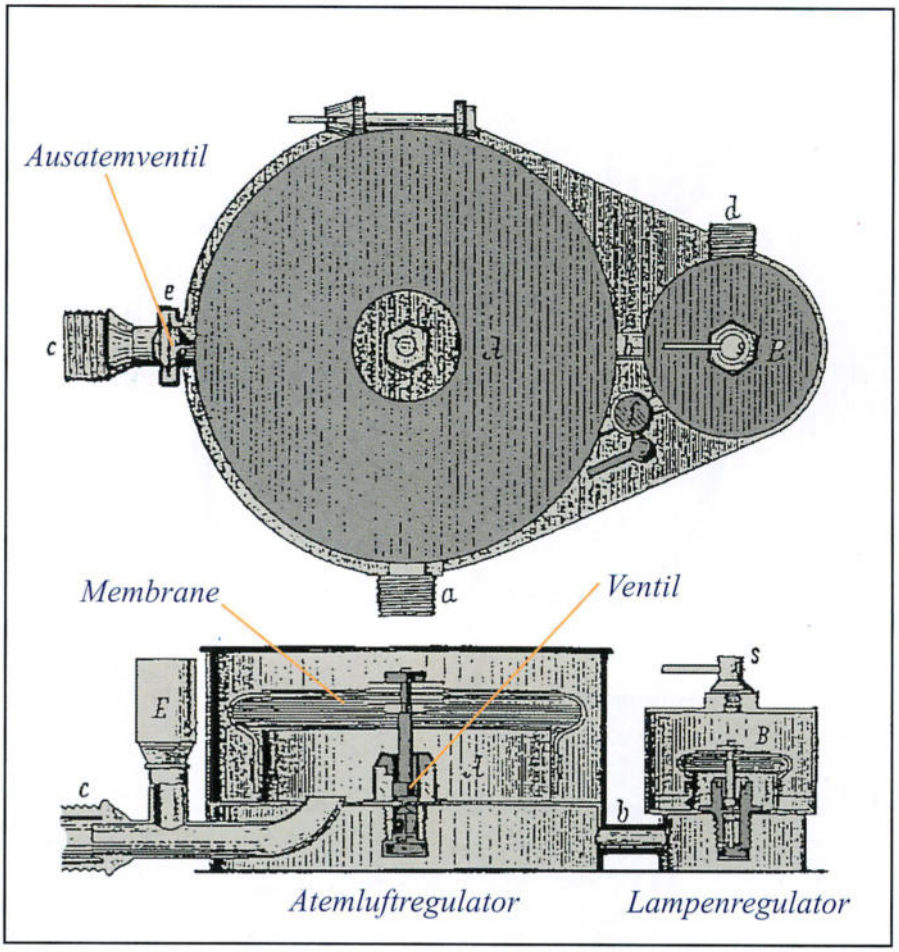


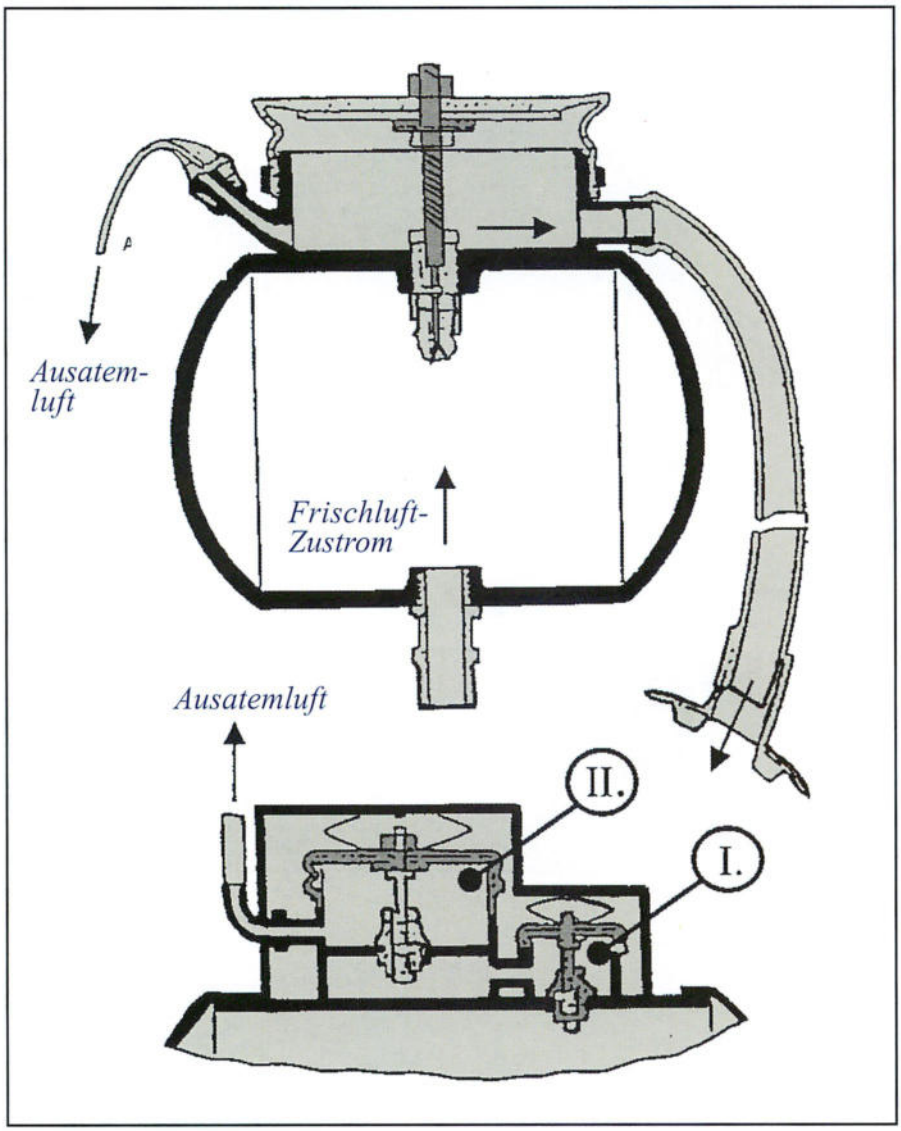
Abbildung: Michael Jung

Querschnitt durch den Atmungs- (links unten) und Lampenregulator (rechts unten), 1866. Beide sind auf einer gemeinsamen Trageplatte befestigt.

die bei direkter Luftzufuhr pulsierenden Hübe der Pumpe kaum mehr zu spüren.
Die Geräte hatte noch weitere Vorteile: Ein Zerreissen des Luftzuführungsschlauches war beispielsweise mit keiner grossen Gefahr mehr verbunden, da das Rückschlagventil im Tornister den Eintritt von Wasser in den Behälter unmöglich macht und der Taucher, sobald er merkt, das sein Luftvorrat zu Ende geht, "ruhig die gusseisernen Sohlen und sogar den ganzen Apparat ablegen und schwimmend oder auf der Leiter nach oben steigen kann". Da man auch ohne Anzug tauchen konnte und dadurch nur kurze Zeit zum Ausrüsten brauchte, war dieses System besonders für schnelles Eingreifen des Tauchers von großem Wert.
1865 wurde der Druckminderer durch einen geänderten Ventilkörper etwas verbessert, und eine größere Fläche der Membrane ermöglichte eine Funktionsempfindlichkeit bis auf wenige Zentimeter Wassertiefe. Interessant ist auch ein Patent vom September 1865, bei dem eine Warnpfeife an das Gerät eingefügt wird, die den Benutzer über das baldige Ende seines Luftvorrates informiert. Dem Patent von Rouquayrol vom November 1866 kommt ein besonderer Stellenwert zu: Ein Ausschnitt der Patentzeichnung zeigt den ersten Entwurf für eine zweistufige Druckreduzierung, wie sie heute in unseren Tauchgeräten Standard ist. 1876 hatten die Apparate von Rouquayrol-Denayrouze ihre endgültigen Bauversionen erreicht.
Trotz der augenscheinlichen Vorteile hatten Rouquayrol und Denayrouze mit teilweise erheblichen Widerständen bei der Einführung des Gerätes zu kämpfen: Sie waren zunächst sehr teuer, was sich nachteilig auf ihre Verbreitung auswirkte. Hinzu kam, dass das Gerät hinsichtlich seines Bedienungsaufwandes keinen besonderen Vorteil aufweisen konnte: Für einen Tauchertrupp waren als Bedienungsmannschaft bis zu 13 Personen erforderlich, und zwar neben dem Taucher vier Mann zum Pumpen, sowie jeweils einer zur

Entwicklung des bedarfsgesteuerten Atemreglers - Teil III

Abbildung: Michael Jung



Konstruktionszeichnungen aus dem Patent USA 59.529 von 1866. Oben die einstufige Variante, unten der zweistufige Regler (I = 1. Stufe, II = 2. Stufe). Gut erkennbar ist oben das Ausatemventil als Bestandteil der Atemkammer. Es entwickelte sich aus dem Überdruckventil der Leuchtgas-Druckregulatoren.

Beobachtung des Manometers, zum Einholen, Stecken und Klarhalten des Luftzuführungsschlauches, zur Bedienung der Signal- und Sicherheitsleine, und ein weiterer Mann zum Einholen, Stecken und Klarhalten des Sprach- und Hörrohres. Beim Tauchen in größere Tiefe oder bei starker Strömung waren sechs bis acht Mann für die Bedienung der Pumpen erforderlich. Ein weiteres Problem war, dass bei einem Vollaufen der Atemkammer ein Ausblasen unmöglich war.

Das Hauptproblem der autonomen Druckluft-tauchgeräte der damaligen Zeit lag aber immer noch in der zu kurzen Tauchzeit. Ursache war der zu niedrige Fülldruck der Druckluftbehälter, einerseits verursacht durch unzureichende Werkstoffe beim Behälterbau, andererseits durch zu schwache Pumpen. Die Zentralfrage war nun nicht mehr, wie die unter Umgebungsdruck stehende Atemluft bedarfsgesteuert zu regulieren ist, sondern wie man eine genügend große Menge Luft in einem handlichen Behälter speichern kann. Dies gelang nur unter entsprechend hohem Druck. Man kannte zur damaligen Zeit aber weder Druckluftpumpen, die einen über 30 bar hinausgehenden Druck erzeugen konnten, noch Herstellverfahren und Werkstoffe für Druckluftbehälter, die den höheren Druck aushielten. Das größte Problem, das sich also allen Erfindern autonomer Druckluft-tauchgeräte bis zum Beginn unseres Jahrhunderts stellte, wurde erst gelöst, als Hochdruckkompression möglich wurde, und so in relativ kleinen Behältern genügend große Reserven mitgenommen werden konnten.

Bald wurde dieser Hauptnachteil des französischen Regulatorgerätes für alle deutlich: die zu geringe Einsatzdauer des unabhängigen Tanks. Als autonomes Tauchergerät war es - noch nicht - brauchbar, und als schlauchversorgtes Gerät war es seinen Konkurrenten, den englischen Helmtauchergeräten, nicht ebenbürtig. Die mitgeführte Luftmenge reicht nur für eine kurze Zeit aus, während ein guter, schlauchversorgter Helmtaucher ununterbrochene Taucharbeit bis zu 2 Stunden leisten konnte. Deshalb wurde der Regulator von Rouquayrol bald nur noch in seiner schlauchversorgten Form mit Taucherhelm eingesetzt. Auch an Land in der Bergbautechnik konnte sich das Druckluftgerät nicht dauerhaft durchsetzen, hier waren es die leichten Sauerstoff-Kreislaufgeräte, die ihnen gegen Ende des 19. Jahrhunderts den Rang abliefen.

Leider konnte man damals noch nicht die besonderen Vorteile, die das neue Tauchgerät in seiner autonomen Version bot, nutzen, und trotz einiger gravierender Vorzüge konnte sich das im Vergleich zu den englischen Helmtaucheranzügen wesentlich teurere französische Regulatorsystem nicht durchsetzen. Das autonome Drucklufttauchgerät von Rouquayrol-Denayrouze war seiner Zeit ein halbes Jahrhundert voraus.

Benoit Rouquayrol sowie Auguste Denayrouze haben die Tauchtechnik einen bedeutenden Schritt weitergebracht: 1860 hatte Rouquayrol aufbauend auf Charles Combes einen einstufigen, bedarfsgesteuerten Druckluftregler für Atemgeräte gebaut und ab 1864 in Verbindung mit einem autonomen Druckluftgerät zu Tauchzwecken praktisch eingesetzt. Rouquayrol und Denayrouze lebten leider in einer Epoche, in der man Luft nur bis zu einem zu geringen Druck komprimieren und transportieren konnte. Aber es ist unbestreitbar ihr Verdienst, schon 1864 das moderne, autonome Tauchgerät in den Grundzügen gebaut und eingesetzt zu haben. (Wird fortgesetzt in *DIVEMASTER* 3-2000).

Literatur:
Jung, Michael: Das Handbuch zur Tauchgeschichte. Stuttgart, 1999.
-,-: Atemreglerhistorie. Technikgeschichte des bedarfsgesteuerten Atemreglers für Drucklufttauchgeräte. Merzig, 2000.

Die Entwicklung des bedarfsgesteuerten Atemreglers - Teil IV

Nachdem im 19. Jahrhundert die technologischen Grundlagen für den bedarfsgesteuerten Atemregler geschaffen und er auch bei den verschiedensten Anwendungen mit Erfolg – teilweise Jahrzehnte lang wie von Rouquayrol-Denayrouze – über und unter Wasser praktisch eingesetzt worden war, blieb es dem 20. Jahrhundert vorbehalten, ihn für den Alltagsgebrauch weiterzuentwickeln und im grossen Stil zu vermarkten. In dem letzten Teil seiner Serie berichtet Michael Jung über diesen Fortschritt.

An dieser Stelle verdient zunächst noch der Atemregler der Österreicher Carl Drexler, Franz Welleba sowie Richard Klinger Erwähnung. Sie hatten 1894 einen Atemregler erfunden, der oben auf der Druckluftflasche montiert wurde. Er war weniger für Unterwasser als vielmehr für den Einsatz in Bergwerken und unatembarer Luft gedacht. Die Vorrichtung bestand aus einem Druckluftbehälter, der auf dem Rücken zu tragen war, und einem bedarfsgesteuerten Atemregler. An dem Gerät sollte ein einfaches Mundstück oder eine Gesichtsmaske mit zwei entgegengesetzt wirkenden Einwegventilen angebracht werden. Durch das Einatmen entsteht in der Atemkammer ein Unterdruck, der eine Gewichtsscheibe anhebt und die blasebalgartige Membrane ähnlich einer Ziehharmonika zusammenzieht. Der bewegliche Boden hebt einen Hebel an, welcher bei seiner Drehbewegung um sein Lager Bohrungen freigibt, durch die Druckluft aus dem Vorratsbehälter in die Atemkammer strömt.

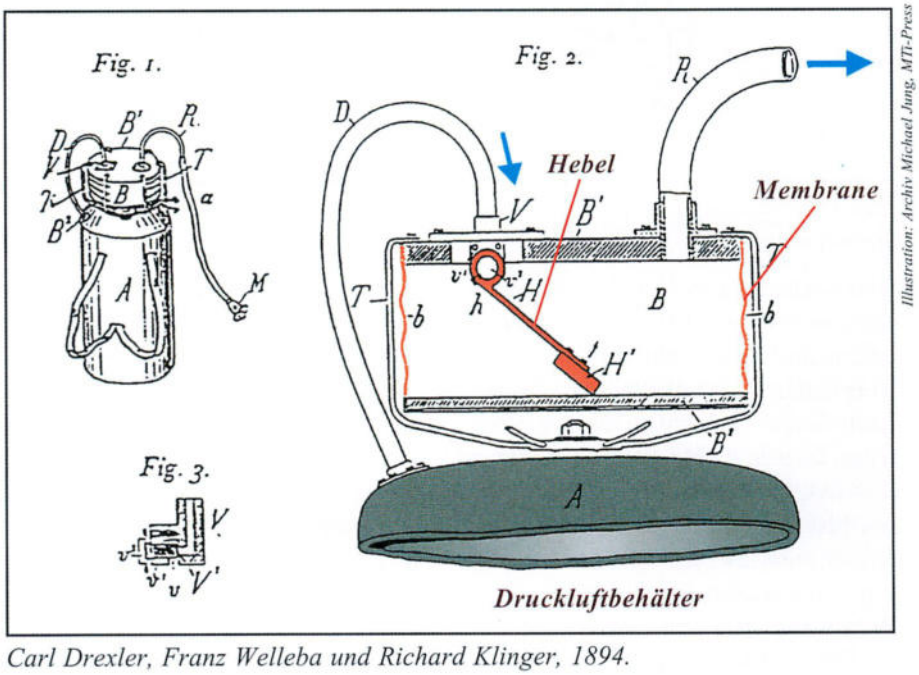


Illustration: Archiv Michael Jung, MTI-Press

Carl Drexler, Franz Welleba und Richard Klinger, 1894.

Eine andere Konstruktion für ein bedarfsgesteuertes, unabhängiges Drucklufttauchgerät stammt von dem Deutschen Richard von der Heide von 1922. Er hatte 1920 ein Patent für ein unabhängiges Tauchgerät eingereicht und es 1922 ergänzt. Seine erste Konstruktion umfasste ein Nitrox-Kreislauftauchgerät mit Atmungsbeutel und Reinigungsvorrichtung. Seine zweite behandelte ein bedarfsgesteuertes, unabhängiges Drucklufttauchgerät. Der Umgebungsdruck wirkt auf einen trommelförmigen Atmungsbeutel in Gestalt von zwei Membranen, der zwischen den beiden Flaschen angeordnet ist und innen ein Hebelsystem enthält. Das Hebelsystem in dem einstufigen Atemregler ist so gelagert, dass das konische Ventil eine möglichst lineare Bewegung ausführt und nicht verkantet. Bei Unterdruck in der Atemkammer strömt frische Luft durch das Mundstück zum Taucher. Die Ausatemluft kann der Taucher durch Umlegen eines Dreiwegehahns wahlweise entweder in einen Auftriebsbeutel (Tarierhilfe) ausatmen oder ins Umgebungswasser abgeben. Man erkennt an der Ventilführung von Richard von der Heide, wie gut durchdacht manche Atemregler zu Beginn des 20. Jahrhunderts waren, und wundert sich gelegentlich, wenn man auf Konstruktionen dieser Periode stösst, die rückständig waren und die vorhandenen Errungenschaften ignorierten. Dazu sollen hier zwei Beispiele aufgeführt werden: eines aus Japan und eines aus Frankreich.

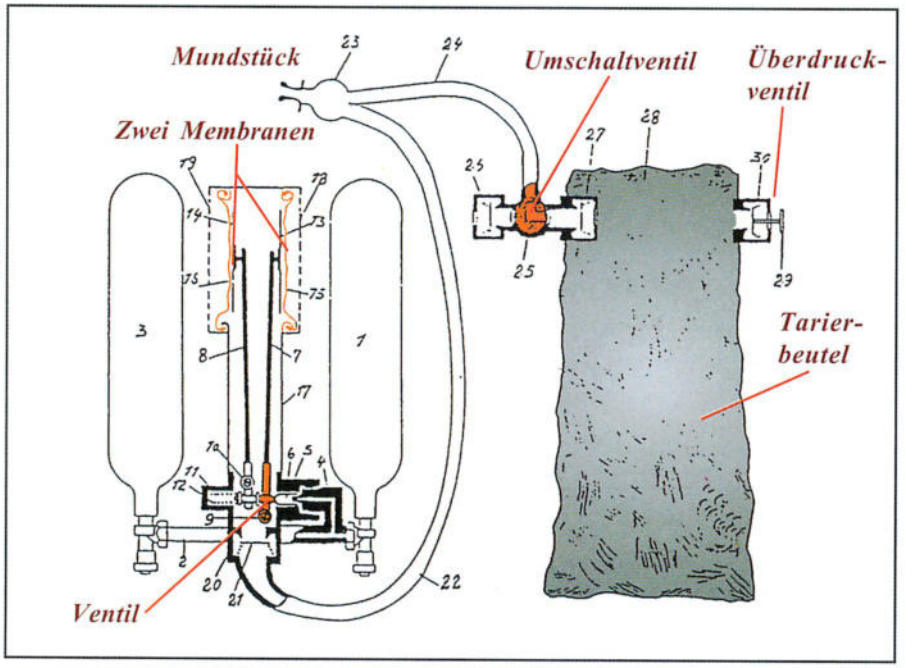
Das Ohgushi-Tauchgerät (siehe *DIVEMASTER* 02/97) wurde ab 1918 in Japan häufig von Perlentauchern benutzt. Dem Patent zufolge wurde die Druckluft – entweder aus einem Druckluftbehälter mit Absperrventil und einstellbarem Reduzierventil, den der Taucher auf dem Rücken trug, oder von der Pumpe an der Oberfläche – zunächst in einen flexiblen Beutel, der wie ein breiter Gürtel um die Hüfte gewunden war, geleitet.

Hier erfolgte eine Pufferung sowie die Angleichung an den Umgebungsdruck, die in den modernen Atemreglern durch die Membrane ermöglicht wird. Das Druckreduzierventil war von dem Taucher bei der autonomen Version in Abhängigkeit von der jeweiligen Tiefe laufend nachzuregulieren.

Die Druckluft floß anfangs von dem Puffersack durch ein Ventil und einen nachfolgenden kleinen Schlauch seitlich in die Tauchermaske hinein. Das eigentümliche an dem Ohgushi-Tauchgerät war dieses Ventil und

Geschichte des bedarfsgesteuerten Atemreglers, Teil IV

Illustration: Archiv Michael Jung, MTI-Press



Das Druckluftventil von Richard von der Heide, 1922, mit Druckregler und Tarierbeutel.

seine Betätigung. Anders als bei vielen Erfindern, die die Luftzufuhr lungenautomatisch oder manuell, durch Öffnen und Schließen eines Handrades regulierten, hatte der Ohgushi-Taucher das Ventil im Mund zwischen seinen Zähnen. Zur Einatmung bzw. Öffnen des Ventils waren also mit den Zähnen die beiden Hebel des Ventils im Mund zusammenzupressen, so dass die Druckluft in den Maskenkörper einströmen und durch die Nase eingeatmet werden konnte. Zur Ausatmung wurden die Zähne geöffnet, folglich das Ventil geschlossen und der Luftzustrom gestoppt, so dass durch den nun offenen Mund ausgeatmet werden konnte. Es ist leicht vorstellbar, welche angestrengte Aufmerksamkeit dieser Steuerungsvorgang bei schwerer Arbeit oder Strömung vom Taucher abforderte!

Der "Beiß- und Fließ-Mechanismus" des japanischen Ventils hinkte der Entwicklung der Tauchtechnik weit hinterher. Aber auch in Europa, und sogar in Frankreich, dem Vorreiter der autonomen Taucherei mit Druckluft, wurden zu Beginn des 20. Jahrhunderts noch rückständige Tauchgeräte gebaut: Yves Le Prieur hatte 1926 ein autonomes Druckluft-tauchgerät gebaut, das auf dem Free-flow-Prinzip des kontinuierlichen Luftzuflusses, also ohne bedarfsabhängige Druckluftregulierung, beruhte. Der Taucher hielt dabei ein Gummimundstück zwischen seinen Lippen. Von dem „Entenschnabel"-Ventil am freien Ende des Mundstückes entwich die Ausatemluft in das Wasser, während über eine Schlauchleitung an seinem anderen Ende ein Luftschlauch nach oben zu einer einzylindrigen Pumpe führte.

In einer nächsten Version brachte er 1925 an seinem Gerät eine Druckluftflasche und eine Vorrichtung zur Verminderung des Gasdruckes an. Als Druckreduzierventil nutzte er einen handelsüblichen Regler, der eine Gummimembrane besaß. Der Wasserdruck wirkte auf die Membrane und damit auf ein Hebelsystem, welches eine Luftdüse öffnete oder verschloß. Ein geringer Überdruck, der die Atmung bequemer machte, konnte am Ventil manuell eingestellt werden. Die Stahlflasche fasste 4 Liter unter einem Druck von 150 bar, das gesamte Gerät wog etwa 7 Kilogramm. Der Luftvorrat genügte für einen Aufenthalt von 20 Minuten in einer Tiefe von 7 oder 8 Metern und für eine Viertelstunde in 12 Metern Tiefe. Aber trotz seiner Vorteile plante Le Prieur weitere Verbesserungen am Tauchgerät: 1933 baute er sich eine grosse Maske mit Glasscheibe. Auf der linken Seite der Maske belüftete die ankommende Luft permanent das Innere, und man atmete genauso wie an der freien Luft durch Mund und Nase. Die überschüssige Luft entwich durch den Rand zwischen Gesicht und Maske ins Wasser. Mit der Vollgesichtsmaske und einer größeren Druckluftflasche konnte Le Prieur 20 Minuten auf 12 Meter Tiefe bleiben. Aus Sicherheitsgründen beschränkte er später den Inhalt der Druckluftflasche auf etwa 1.000 barLiter. Das ergab Tauchzeiten von 30 Minuten dicht unter der Oberfläche, 20 Minuten in 7 Meter Tiefe und 10 Minuten in 12 Meter Tiefe. Vor dem Aufsuchen größerer Tiefen wurde abgeraten. Le Prieur empfiehlt, nicht tiefer als 12 Meter hinabzusteigen.

Ab 1933 begann Le Prieur damit, seine neue und verbesserte Erfindung zu propagieren. Er führte das Tauchgerät der Presse und den Touristen der Riviera sowie in Paris, St. Malo, Rouen, Toulon und Genf vor. Er erregte überall Aufsehen und Interesse und wurde so zum Begründer des "Sporttauchens für Jedermann". Der Apparat von Le Prieur bestach durch seine Einfachheit, war aber noch nicht perfekt. Neben dem Vorteil, den die autonome Druckluftversorgung zwar bot war es sehr lästig, dass der Flaschendruck manuell an die jeweilige Tiefe nachreguliert und feinabgestimmt werden musste. Die größte Schwachstelle des Apparates war aber, dass durch den ständigen Luftstrom bis zu 25% des Atemluftvorrates während der Atempausen verloren ging und er nicht nur unpraktikabel sondern dadurch auch ineffizient wurde.

Le Prieurs Aussage, die Luftvergeudung könnte man durch ständiges, genaues Regeln an der Einstellschraube reduzieren, kann nicht darüber hinwegtäuschen, dass ein solches autonomes Druckluft-tauchgerät mit kontinuierlichem Luftstrom grundsätzlich eine wesentlich geringere Effizienz aufweist als eines, das mit einem bedarfsgesteuerten Atemregler versehen ist und dadurch weniger Verluste hat.

Trotz allem Respekt vor Le Prieurs vielen wertvollen Erfindungen und Fortschritten, die ihm zu verdanken sind, war sein autonomes Tauchgerät sowohl in der Version von 1926 mit Taucherbrille, wie auch in der von 1933 mit Vollgesichtsmaske aus der Perspektive der Tauchtechnik eher eine Stagnation. Einzige Weiterentwicklung war die Druckluftflasche, die Dank der Fortschritte der Druckluft- und Werkstofftechnik zu jener Zeit einen nutzbaren Fülldruck von bis zu 180 bar hatte und so einen längeren Aufenthalt ermöglichte.

In den 20er und zu Beginn der 30er Jahre ging also die Entwicklung des autonomen Druckluft-tauchgerätes im 20. Jahrhundert in die richtige Richtung, aber die Situation war unbefriedigend: Le Prieur hatte endlich einen

brauchbaren Druckluftvorrat, aber einen sehr unzulänglichen Atemregler, der einen ständigen Luftstrom erzeugte und von Hand nachgeregelt werden musste. Es fehlte jetzt nur noch ein kleiner Schritt, um das autonome Drucklufttauchgerät zu optimieren: Er bestand darin, dass der Druckluftvorrat mit einem bedarfsgesteuerten Atemregler kombiniert werden musste – dadurch wurden die Verluste in den Atempausen vermieden und die manuelle Regelung des Atemluftdruckes entfiel.

1937 wurde das autonome Tauchgerät mit bedarfsgesteuertem Atemregler von einem anderen Franzosen, und zwar von Georges Commeinhes, technisch vervollkommnet und praktisch eingesetzt. Der Erfinder ist ungerechterweise auch heute immer noch weithin unbekannt, weil er schon kurz nach dem erfolgreichen Einsatz seiner Erfindung im Zweiten Weltkrieg getötet wurde. Georges Commeinhes war ein junger, begeisterter Unterwasserjäger, dessen Vater eine bekannte und gutgehende Firma für Bergwerks- und Feuerwehrgeräte besaß, die auch Druckluft-Atemgeräte zu Rettungszwecken herstellte. Am 9. September 1935 hatte der Vater, Rene Commeinhes, ein Druckluftgerät patentieren lassen, das ursprünglich für den Einsatz in nichtatembarer Atmosphäre wie in Minen oder bei Feuer und Rauch gedacht war. Es diente ab 1937 Georges als Grundlage für ein autonomes Tauchgerät zum amphibischen Einsatz. Es wurde im Juni 1937 vom französischen Kriegsministerium getestet und amtlich zugelassen.

In den nachfolgenden Jahren entwickelte Commeinhes sein Tauchgerät weiter. Schließlich patentierte er am 29. April 1942 eine sehr praktikable Nachfolgeversion und wandte sie auch erfolgreich an. Das Gerät bestand aus zwei oder drei mit Gurten auf dem Rücken befestigten Druckluft-Stahlflaschen, die ein unten angebrachtes Ventil hatten, das vom Taucher selbst geöffnet oder geschlossen werden konnte. Er hatte die Möglichkeit, je nach Ventilstellung, aus nur einer oder auch aus beiden oder allen drei Flaschen gleichzeitig zu atmen.

Die Druckluft der Flaschen wurde zusammengeführt und durch ein Kupferrohr zu einem Atemregler mit einer gefalteten Metallmembrane geleitet. Der Atemregler, der nur bei Bedarf Atemluft lieferte, wurde auf Höhe der

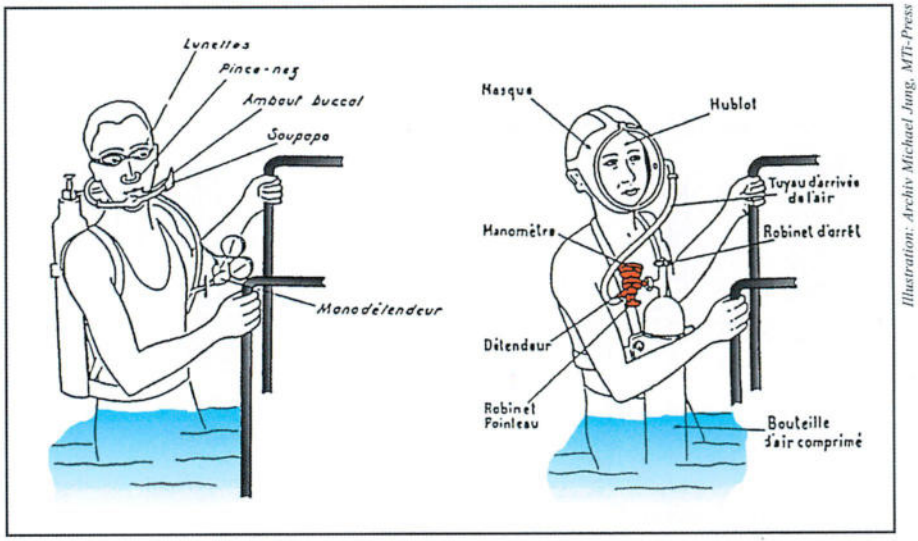


Illustration: Archiv Michael Jung, MTI-Press

Links die erste Version von Yves le Prieur, 1926, und rechts die ab 1933 eingesetzte Version mit Vollgesichtsmaske. Aus: Le Prieur, Yves: Premier de plongée. Paris, 1956.

Schulterblätter montiert und durch eine Abdeckung geschützt. Er minderte den Flaschendruck von etwa 180 bar auf Umgebungsdruck und besaß auch eine Druckanzeige. Vom Regler aus wurde die Atemluft durch einen Faltenschlauch in eine Vollgesichtsmaske aus Kautschuk geleitet, die das ganze Gesicht bis zum Kinn abdeckte. Die Ausatemluft wurde durch ein spezielles Ventil an der Maske geleitet, das auf derselben Höhe wie die Membrane des Atemreglers lag.

Commeinhes war sich darüber bewußt, wie entscheidend wichtig die Position der Membrane und des Auslassventils ist. Auf Höhe der Membrane geschieht ja die genaue Angleichung des Atemluftdruckes an den Umgebungsdruck. Durch allzugroße Höhenunterschiede zwischen der Position der Membrane und der Lunge des Tauchers entstehen Druckdifferenzen, die zu Funktionsstörungen führen können. Je nach Lage des Tauchers bläst der Atemregler dann ununterbrochen Luft ab oder kann das Einatmen erschweren. Beim Abtauchen oder Waagerechtschwimmen mit Schwimmflossen erkennt man, wie wichtig dieser Punkt ist.

Wie Commeinhes in seiner Patentschrift schreibt, ist "ein wesentliches Bestandteil der Erfindung der Atemregler, der mit einer Membrane ausgestattet ist, auf die einerseits der Druck in der Kammer, andererseits der äußere Umgebungsdruck einwirkt. Diese Membrane verursacht die Öffnung des Lufteinlasses, wenn die Druckdifferenz im Regler einen bestimmten Wert beträgt. Deshalb ist der Druckregler in Höhe des Nackens des Trägers plaziert, damit die flexible Membrane und die Maske sowie die Ausatemöffnung der verbrauchten Luft genau demselben Außendruck unterworfen sind."

Das Tauchgerät von George Commeinhes in seiner Version von 1942 hatte also einen bedarfsgesteuerten Atemregler, Druckluftflaschen sowie Vollgesichtsmaske und weist alle technischen Merkmale unserer heutigen, autonomen Tauchgeräte auf. Die Luftversorgung geschieht nur nach Bedarf, um jegliche Verschwendung zu vermeiden. Mit der 3-Flaschen-Version konnte er bis zu 40 Minuten auf 10 Meter oder 25 Minuten auf 20 Meter Tiefe arbeiten. Am 30. Juli 1943 stellte Georges Commeinhes vor vielen Zeugen einen ersten Tiefenrekord auf, als er auf der Aussenreede von Marseille zwischen La Madrague und L'Estaque 53 Meter tief tauchte. Für den Abstieg brauchte er etwa 18 Minuten, für den Aufstieg nur 2 Minuten.

Am 7. Februar 1944 beantragte Commeinhes ein neues – und gleichzeitig sein letztes – Patent für einen "verbesserten Apparat mit automatischer Druckangleichung für Druckluft, der den Druck in der ersten Stufe des Gerätes auf einem bestimmten Wert hält, obwohl der Druck in dem Reservoir niedriger wird." Commeinhes war leider kein langes Leben oder eine kommerzielle Nutzung seines Gerätes vergönnt. Nach dem Invasionstag am 6. Juni 1944 meldete er sich zur Leclerc-Armee, die die Alli-

Geschichte des bedarfsgesteuerten Atemreglers, Teil IV

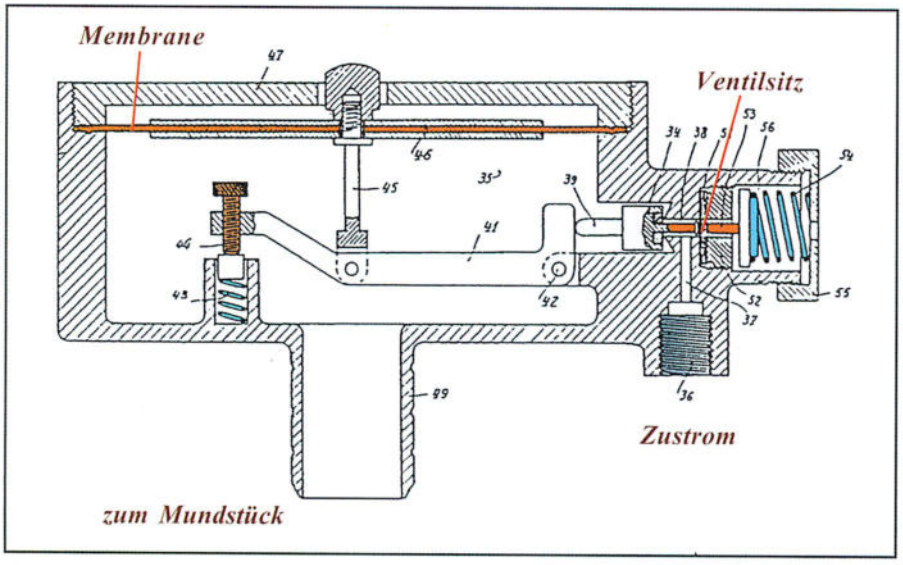


Illustration: Archiv Michael Jung, MTI-Press

Der von Georges Commeinhes im Februar 1944 patentierte Atemreglermechanismus.

ierten unterstützte und mit ihnen gemeinsam gegen die deutsche Wehrmacht kämpfte. Georges war dort Unteroffizier im 501sten Regiment, wo er einen Sherman-Panzer kommandierte. Als Leclercs Armee am 23. November 1944 Fort Kleber bei Strasbourg angriff, wurde Commeinhes durch die Kugel eines deutschen Heckenschützen am Kopf schwer verletzt und sollte in das amerikanische Feldlazarett von Bayon nahe Metz transportiert werden. Er verstarb aber noch auf dem Transport und wurde zunächst in Bayon begraben, bevor er seine letzte Ruhestätte auf dem Militärfriedhof von Saint Maur fand.

Vieles zu der Entwicklungsgeschichte des Gerätes zwischen den Jahren 1937 und 1944 sowie seinen Einsätzen ist noch unbekannt und wurde von Commeinhes wohl mit in sein Grab genommen. Seine Tauchgänge führte er meistens alleine bei der Familienvilla bei Houlgate in der Normandie durch. Commeinhes kommt der Verdienst zu, den technologischen Fortschritt des 20. Jahrhunderts in der Druckgastechnik mit der Erfindung des bedarfsgesteuerten Atemregler aus dem 19. Jahrhunderts zusammengeführt und mehrfach praktisch eingesetzt zu haben.

In Saint Mandrier, dem Ausbildungszentrum der französischen Marine bei Toulon, werden noch heute einige der Commeinhes-Tauchgeräte aufbewahrt. Es hatte die Bezeichnung GC 42 und später GC 47 und ging wegen seines großen Potentials auch in industrielle Produktion. Es wurde aber nur wenige Jahre gebaut, da 1943, fast zeitgleich mit dem Rekordtauchgang von Georges Commeinhes, ein anderer Franzose ein ähnliches Gerät baute und den Markt erstürmte: Sein Name ist Jacques-Yves Cousteau, und der eingängige Markenname seines Tauchgerätes "Aqualunge".

Der französische Marineoffizier Jacques-Yves Cousteau beschäftigte sich schon in den Jahren vor dem Zweiten Weltkrieg mit der Problematik eines zuverlässig funktionierenden, autonomen Tauchgerätes, und hatte bereits einige, leider überwiegend schlechte Erfahrungen mit Sauerstoffkreislaufgeräten gesammelt. Auf der Suche nach einem geeigneten Hilfsmittel kam ihm seine familiäre Verbindung zu dem französischen Druckgasunternehmen "Société de l'Air Liquide" zugute. Sein Schwiegervater war der Direktor des internationalen Konzerns mit Sitz in Paris. Dieser brachte Cousteau im Dezember 1942 mit dem Ingenieur Emile Gagnan, einem Fachmann für Industrie-Gasausrüstungen zusammen. Gagnan hatte am 21. November 1940 gemeinsam mit Robert Bollard, einem anderen Ingenieur der L'Air Liquide, ein Patent auf einen "Gasregler mit Membrane" eingereicht. Dabei handelte es sich um einen herkömmlichen bedarfsgesteuerten Gasdruckregler mit Membrane, aber besonders empfindlichem Ansprechverhalten.

Der Aufbau des bedarfsgesteuerten Reglers von Gagnan folgt früheren Patenten, war in verschiedenen Details aber doch auch weiterentwickelt: Bei den früheren Geräten wurde beispielsweise die Membranbewegung direkt auf ein Ventil übertragen, weshalb damals ein großer Membrandurchmesser erforderlich war, um das Ventil zu öffnen. Der Regler von Gagnan dagegen verwandte ein zwischengeschaltetes Hebelsystem, um die geringe Membrankraft in eine starke Kraft zu übersetzen, bei gleichzeitiger Verringerung des Weges. Gagnan kam dadurch zu einer wesentlich kleineren Baugröße als der eher unhandliche Regler von Rouquayrol.

Automatische Gasdruckregler waren in diesen Jahren bevorzugtes Objekt von Weiterentwicklungen, denn wurden sie bislang nur bei Atem- und Tauchgeräten sowie in der Gaslichttechnik eingesetzt, so erhielten sie im Zweiten Weltkrieg ein weiteres Anwendungsgebiet: Und zwar bei den sogenannten "Holzvergasern", einer Antriebstechnik für Autos, bei denen zum Einsparen von Benzin das Gas von brennender Holzkohle sowie natürliches Gas nutzbar gemacht wurde. Der Begriff "Holzvergaser" ist insofern unkorrekt, als dass bei dieser Konstruktion der Brennstoff nicht vergast, sondern mit Frischluft vermischt wird. Richtiger ist der Ausdruck "Luftgasmischer" anstelle "Holzvergaser".

Nach dem Treffen mit Cousteau baute Emile Gagnan seinen Gasdruckregler für den Einsatz unter Wasser um. Im Februar 1943 konnte Cousteau in der Marne bei Paris den ersten Tauchversuch unternehmen. Der Apparat funktionierte anfänglich leider nicht ganz so wie er sollte, denn es gab Probleme, wenn Cousteau in vertikaler Lage tauchte. Dann blies der Atemregler stark ab oder lieferte nur wenig Luft. Dieses Problem der unregelmäßigen Luftzufuhr, das durch Druckdifferenzen zwischen Lunge, Membrane und Ausatemöffnung verursacht wird, konnte später leicht durch Lageangleichung von Ausatemventil und Membrane des Druckreglers an die Gleichdruckebene behoben werden.

Im Frühjahr 1943 war ein überarbeiteter, für den Taucheinsatz vorgesehener Prototyp fertiggestellt worden, den Cousteau im Juni 1943 in Bandol erhielt. Der Atemregler arbeitete nach dem bekannten Verfahren: Der Druckminderer war die erste Stufe des Systems, die die Druckluft von 180 bar auf einen Druck von etwa 8 bar über dem Umgebungsdruck entspannte. Der Druckregler war die zweite Stufe und entspannte mit Hilfe einer Membrane, die über ein einfaches Hebelsystem ein Ventil öffnet, die Atemluft auf Umgebungsdruck. Die Konstruktion war identisch zu dem

1940 von Gagnan-Bollard patentierten Regler. Die Luftzufuhr erfolgte in genauer Abstimmung auf den in der jeweiligen Tiefe herrschenden Wasserdruck und nach Bedarf im Atemrhythmus, so dass der Taucher ohne Beschwerden atmen konnte und in den Pausen kein Luftverlust entstand.

Beide Stufen waren in einem gemeinsamen Gehäuse untergebracht („zweistufiger Zweischlauchautomat"). Einer der beiden flexiblen Faltenschläuche des Zweischlauchautomaten führte die Luft zum Mundstück, wo der Taucher sie einatmete.

Die Ausatemluft strömte durch ein Einwegventil durch den zweiten Faltenschlauch zu einem „Entenschnabel-Ventil", das sich unter der Schutzkappe des Druckminderers befand, also in nahezu der gleichen Ebene wie die Membrane lag. Der Taucher atmete durch das Mundstück die verbrauchte Luft in die Ausatemkammer unter der Reglerkappe durch das „Entenschnabel-Ventil" in das Umgebungswasser ab, wo es in Blasen hochperlte. Eine der drei Flaschen hatte eine spezielle Reservevorrichtung, die bei einem geringen Restdruck aktiviert werden musste. Die Flaschen bestanden aus Duraluminium, einer Legierung aus Aluminium und Magnesium, und hatten je 5 Liter Volumen.

1943 bestand das Gerät seine ersten Prüfungen. Cousteau und seine Freunde unternahmen in diesem Jahr fast 500 Tauchgänge mit ihm. Zusammen mit Emile Gagnan beantragte Cousteau am 8. Juli 1943 in Frankreich Patentschutz. Sein erstes Patent bezog sich auf eine "Atemvorrichtung für Taucher mit offenem Kreislauf, dadurch gekennzeichnet, dass das Ausatemventil unveränderlich auf der vom Boden des Membrangehäuses abgewendeten Seite derart nahe der Membrane angeordnet ist, dass der Abstand zwischen dem Druckzentrum der Membrane des Unterdruck-Druckminderers und des Ausatemventils geringer ist als die Höhe der Wassersäule, welche sich aus der Differenz zwischen den Drükken auf die Außen- und die Innenfläche der Membrane ergibt und welche geeignet ist, die Membrane anspringen und somit das Luftspeiseventil des Druckminderers sich öffnen zu lassen."

Die Besonderheit der Konstruktion von Cousteau / Gagnan war nicht der bedarfsgesteuerte Atemregler – dieser war schon lange erfunden und nicht mehr patentfähig – sondern die Modifikation des Zweischlauch-Prinzipes in der Art, dass das „Entenschnabel-Ausatemventil" gleich neben der Membrane und in einem gemeinsamen Gehäuse untergebracht wurde.

Durch diese Weiterentwicklung wurden bedarfsgesteuerte Atemregler vollkommen lageunabhängig unter Wasser einsetzbar.

Diese 1943 von Gagnan und Cousteau entwickelte "Aqualunge" wurde ab 1945 erfolgreich vermarktet und trägt die Bezeichnung CG 45 (Cousteau - Gagnan). Die Aqualunge erwies sich im Laufe der Jahre als Eintrittskarte zu der Welt unter Wasser, da dieses Druckluftgerät eine größere Sicherheit und Einsatztiefe besaß als das Sauerstoff-Kreislaufgerät. Es wurde das bedeutendste Gerät zur Erforschung der Unterwasserwelt und ist in seinem Grundprinzip bis heute unverändert geblieben. Jacques-Yves Cousteau und Emile Gagnan nutzte die Tatsache, dass sich nun Dank der Fortschritte der Druckluft- und Werkstofftechnik im 20. Jahrhundert endlich Druckluftgeräte und Kompressoren mit einem höheren Fülldruck bauen liessen. Sie konnten deshalb ein autonomes Drucklufttauchgerät bauen, das genügend Sicherheit und Einsatzfähigkeit besaß.

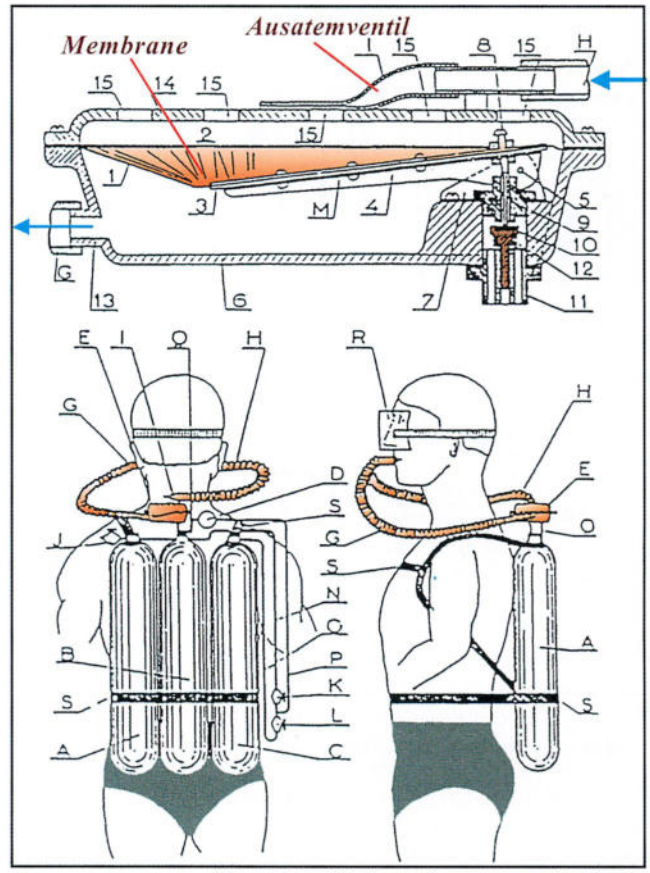


Illustration: Archiv Michael Jung, MT-Press

Das autonome, offene Drucklufttauchgerät mit bedarfsgesteuertem Atemregler von Jaques-Yves Cousteau und Emile Gagnan.

Neben der geringen Druckluftreserve, verursacht durch unzureichende Technologie, war es auch die jahrzehntelang erfolgreich erprobte Einsatzstärke der Helmtauchergeräte, welche einen sinnvollen und effizienten Einsatz dieser Geräte bis zu den dreißiger Jahren des 20. Jahrhunderts verhinderte.

Hätten Rouquayrol und Denayrouze bereits 1864 hochverdichtete Druckluftbehälter gehabt, wäre ihr autonomes, bedarfsgesteuertes Drucklufttauchgerät wohl nicht verdrängt worden. Ab etwa 1945, mit Beginn seiner weltweiten Vermarktung, setzte der Siegeszug des modernen Drucklufttauchgerätes mit bedarfsgesteuertem Atemregler ein, und ihr über 100 Jahre lang schlummerndes Potential wurde endlich ausgeschöpft. Jetzt wurde diese Erfindung wieder aufgegriffen und bildete in Kombination mit hochkomprimierten Druckluftflaschen das Herzstück unserer heutigen Drucklufttauchgeräte, die dem Menschen die erste, wichtige Etappe auf dem Weg in die Tiefe erschlossen.

Cousteau popularisierte nach dem Krieg das autonome, bedarfsgesteuerte Drucklufttauchgerät und machte es durch industrielle Produktion der sich weltweit immer mehr steigernden Schar von Unterwasserenthusiasten zugänglich. Man kann ihn als derjenige der Tauchpioniere mit dem größten kaufmännischen Spürsinn und besonderem Marketingtalent ansehen, denn er hat zielstrebig einen gewaltigen Erfolg aus der Aqualunge gemacht. Er hat sehr früh erkannt, welche enormen Entwicklungs- und Anwendungsmöglichkeiten sich dem autonomen Atemgerät öffnen.

Die Ausweitung der Freizeitbetätigung hat den mit dem Wasser verbundenen Sportarten in

Geschichte des bedarfsgesteuerten Atemreglers, Teil IV

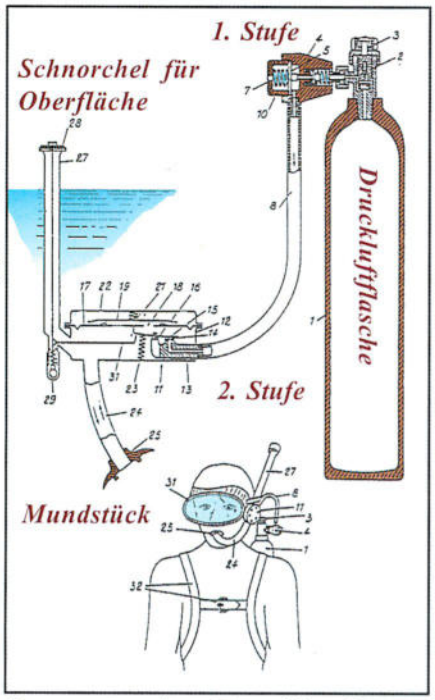


Illustration: Archiv Michael Jung, MTI-Press

Der zweistufige Einschlauchatemregler von Bronnec und Gautier, 1955.

der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts eine gewaltige Entwicklung beschert. Auch wenn Cousteau an den technischen Entwicklungen nur vergleichsweise geringen Anteil haben mag, hat er doch durch seine Anstöße die bereits vorhandene Erfindung praxisgerecht weiterentwickelt und weltweit vermarktet. Zu Hilfe kam ihm dabei seine berufliche Einbindung in die französische Marine sowie seine familiären Beziehungen zu L'Air Liquide. La Spirotechnique und US Divers, beides Tochtergesellschaft von L'Air Liquide, entwickelten ab 1946 die weiteren Patente und vertrieben die Geräte weltweit.

Es gab nach dem Kriegsende noch eine ganze Anzahl weiterer Ideen, um Verbesserungen an dem autonomen Druckluftatemgerät durchzuführen. Aber erst 1955 gab es wieder eine besonders wichtige Erfindung: Jean-Armand-Louis Bronnec und Raymond-Maurice Gautier entwickelten einen Atemregler mit zwei Stufen, die räumlich voneinander getrennt und durch einen Druckschlauch miteinander verbunden sind.

Benoit Rouquayrol hatte 1866 einen zweistufigen Atemregler entwickelt, neu war die Trennung der zwei Stufen in verschiedene Gehäuse. So entstand der zweistufige Einschlauchautomat. Der erste Druckminderer ist hierbei direkt an dem Flaschenventil montiert und liefert Luft unter einem Druck, der je nach Voreinstellung 3 bis 12 bar höher liegt als der Umgebungsdruck. Der zweite ist vom klassischen Prinzip mit Membrane und Einweg-Ausatemventil, die beide in das Mundstück integriert sind, so dass sie sich dicht beieinander in einer Ebene befinden. Die Membrane ist direkt am Mund, bei normaler Schwimmlage also in Lungenhöhe, so dass kaum Differenzdruck entsteht. Diese Dosiereinrichtung, jetzt zweite Stufe oder "Lungenautomat" genannt, wird vom Unterdruck bei der Einatmung gesteuert und kann nun mit einem viel größeren Querschnitt ausgestattet werden. Sie liefert daher leicht größere Luftmengen und ist einfacher herzustellen.

Der Einschlauchautomaten hat den weiteren Vorteil, dass anstelle von großem Ein- und Ausatemschlauch die Luft nun über einen einzigen, relativ dünnen Druckschlauch mit Niederdruck der zweiten Stufe am Mundstück zugeführt werden kann. Der moderne Zweistufen-Einschlauch-Atemregler hat gegenüber dem einstufigen Regler den Vorteil, dass man mit ihm gleichmäßiger atmen kann.

Anzusprechen ist hier ebenfalls noch das Injektorprinzip des "Mistral" von Spirotechnique. Der französische, einstufige Zweischlauch-Atemregler wurde Mitte der fünfziger Jahre zu einem der verbreitesten Atemregler der Welt. Er war der Nachfolger des CG 45 und verwandte das Prinzip des Injektors, das erstmals 1839 von Augustus Siebe in dessen Helmtauchergeräten eingesetzt wurde. Der Mistral war einfacher aufgebaut und hatte über 20 Bauteile weniger als der CG 45. Sein weltweiter Erfolg verdankt er seiner Robustheit, Sicherheit und Einfachheit.

Hauptneuheit an dem Mistral war die Venturidüse, die nach dem Injektorprinzip eine Beschleunigung des Luftstromes bewirkt. Dieser zusätzliche Unterdruck öffnet das Ventil zwischen Druckluftflasche und Atemkammer noch weiter und mehr Luft tritt durch die Düse. Der Luftstrahl reisst aus seiner Umgebung Luft mit und fördert dadurch die Menge an Atemgas in den Einatemschlauch. Es handelt sich also hierbei in erster Linie um eine Erhöhung des Atemkomforts durch Verringerung des Einatemwiderstandes. Durch die Ergänzung der Venturidüse mit Kompensationsöffnungen wird sichergestellt, dass dieser Vorgang nicht unkontrolliert und ungebremst die gewünschte Wirkung übersteigt. Eine weitere Verbesserung des Mistral betrifft das Mundstück. Es wurde mit einem Rückschlagventil versehen, wodurch ein teilweises Wiedereinatmen der Ausatemluft verhindert wird. Hintergrund war eine weitestmögliche Eleminierung des Kohlendioxids und ein Verhindern des Wassereintritts in die Faltenschläuche.

Mit der Ausbreitung des Tauchsports in den Jahren nach dem Zweiten Weltkrieg begann fast jede Industrienation mit der Fertigung eigener Varianten von Atemreglern: La Spirotechnique war 1946 in Frankreich die erste Firma, und es folgten mit wenigen Jahren Abstand US Divers in Amerika, AGA in Schweden, Nemrod in Spanien, Davis in England und Pirelli in Italien. "Do-it-yourself"-Anleitungen halfen dem risikofreudigen Taucher bei dem Eigenbau von Atemreglern auf der Basis von Gasmasken und einfachen Druckreglern. In Deutschland dauerte es noch einige Jahre, bis deutsche Fabrikate auf den Markt kamen. In den Nachkriegsjahren waren es vor allem die Sauerstoff-Kreislaufgeräte, die in Deutschland und Österreich nach dem Vorbild von Hans Hass für das Tauchen verwandt wurden. Das erste kommerzielle deutsche Druckluft-Tauchgerät, der Pendelatmer "Delphin II" der Firma Dräger, kam 1954 auf den Markt. Das Gerät besass eine 5 Liter Druckluftflasche. Etwas später brachte Dräger das Tauchgerät Atlantik mit dem Zweischlauchautomaten "PA 60" heraus. Aber auch andere Firmen begannen in Deutschland mit dem Bau von Tauchgeräten, wie etwa die Firmen Auer oder Matter.

Zur Mitte des 20. Jahrhunderts gab es eine ganze Reihe erprobter Tauchgeräte, wie etwa oberflächenversorgte Helmtauchergeräte, Sauerstoff-Kreislaufgeräte oder autonome Druckluftgeräte. Letztere wurden im Laufe der folgenden Jahre immer häufiger bevorzugt. Wegen des größeren Sicherheitsfaktors wurde das Druckluftatemgerät zum Standardgerät und verdrängte die Sauerstoff-Kreislaufgeräte immer mehr. Heutige Druckluftgeräte sind im Vergleich zu den ersten solchen Geräten des frühen 19. Jahrhunderts natürlich stark verbessert, doch das grundsätzliche Prinzip ist noch das Gleiche wie damals.

Literatur: Jung, Michael: Das Handbuch zur Tauchgeschichte. Stuttgart, 1999.
-,-: Atemreglerhistorie. Technikgeschichte des bedarfsgesteuerten Atemreglers für Druckluftatemgeräte. Merzig, 2000.